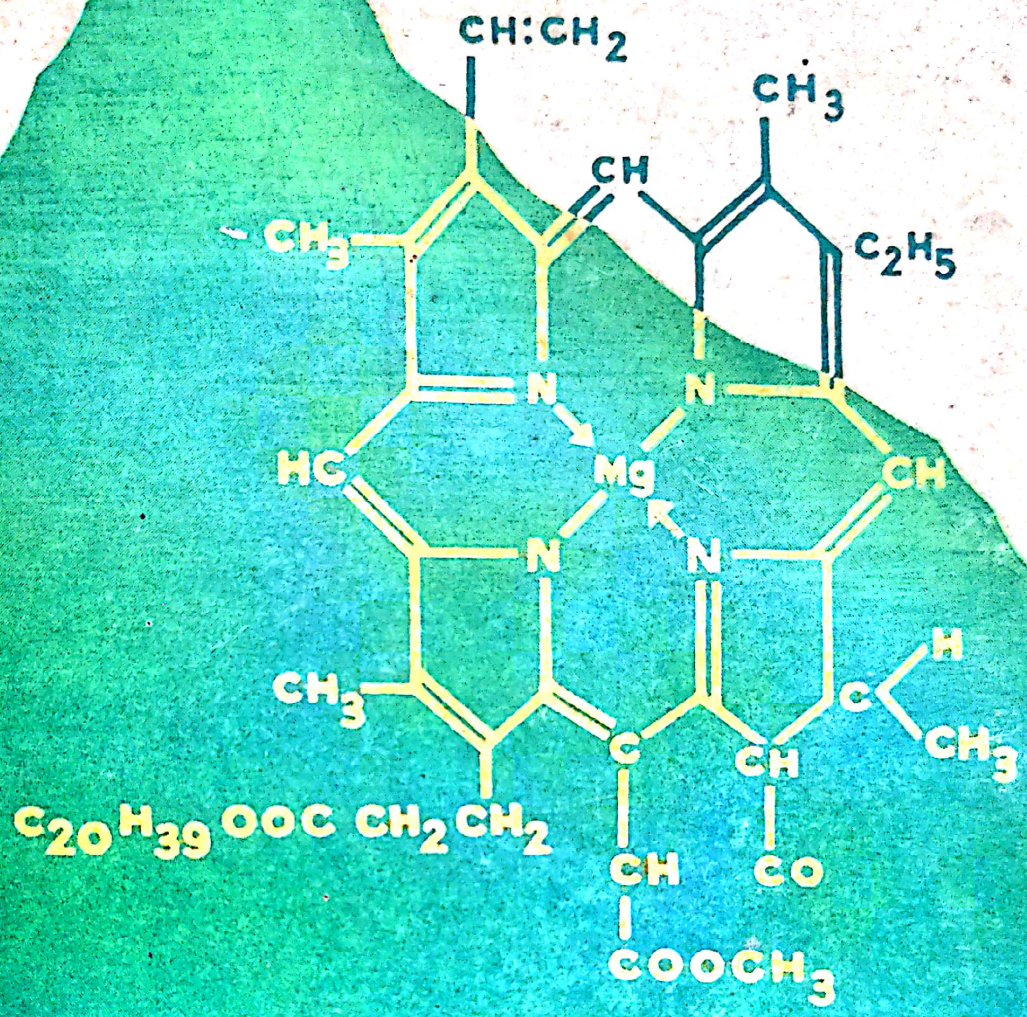
N. CHIRILEI
I. BĂRBAT
M. PUŞCAŞ
N. COJENEANU



FIZIOLOGIA PLANTELOR

EDITURA DIDACTICĂ ŞI PEDAGOGICĂ, BUCUREŞTI – 1964

Scanned with OKEN Scanner

Scanned with OKEN Scanner

MINISTERUL ÎNVĂȚĂMÎNTULUI

Prof. dr. H. CHIRILEI
Prof. dr. M. PUȘCAȘ
Conf. I. BĂRBAT
Conf. N. COJENEANU

FIZIOLOGIA PLANTELOR

EDITURA DIDACTICĂ
ȘI PEDAGOGICĂ
BUCUREȘTI — 1964

PREFAȚĂ

Acest manual a fost scris pentru studenții anului II de la institutele agronomice și facultățile de silvicultură din țară. Conținutul manualului corespunde programei analitice în vigoare.

Diferitele capitole ale acestui manual au fost redactate după cum urmează:

Prof. dr. H. Chirilei, de la Institutul agronomic din București: Fiziologia celulei vegetale, Nutriția minerală a plantelor, Asimilarea carbonului de către plante *și* Respirația plantelor.

Prof. dr. M. Pușcaș, de la Institutul agronomic din Timișoara: Rezistența plantelor la condiții externe nefavorabile.

Conf. Iuliu Bărbat, de la Institutul agronomic din Cluj: Creșterea și mișcările plantelor *și* Dezvoltarea individuală a plantelor.

Conf. Natalia Cojeneanu, de la Institutul agronomic din Iași: Regimul de apă al plantelor *și* Transformarea și circulația substanțelor organice în corpul plantelor.

Scanned with OKEN Scanner

INTRODUCERE LA STUDIUL FIZIOLOGIEI PLANTELOR

1. Definiția și obiectul fiziologiei plantelor

Fiziologia plantelor este știința care se ocupă cu studiul fenomenelor vieții care se petrec în corpul plantelor, cu funcțiile lor vitale. Termenul de fiziologie derivă din cuvintele grecești: *fisis* = natură și *logos* = descriere.

Obiectul propriu-zis al fiziologiei plantelor este cunoașterea funcțiilor vitale, explicarea lor și stabilirea cauzelor și condițiilor care le determină. Fenomenele vieții plantelor sînt multiple. Fiziologia studiază fiecare fenomen vital, mai întîi din punctul de vedere cauzal, stabilind condițiile fizice, chimice și biologice care îl generează, apoi studiază fenomenele din punct de vedere sintetic. Ea leagă rolul fiecărui fenomen din viața plantei de viața întregului organism, ținînd totodată seama de principiul evoluționist al lui Ch. Darwin.

Fiziologia plantelor urmărește să cunoască tot mai profund procesele care se petrec în plante, pentru a da posibilitate omului să schimbe cursul lor, scopul fiind obținerea de cantități sporite de produse vegetale. Fiziologul — spunea Timireazev — nu trebuie să se mulțumească cu rolul pasiv de a studia și lămuri fenomenele, funcțiile vieții plantelor. Ca experimentator, el trebuie să acționeze în sensul transformării plantelor.

În preocuparea de adîncire a cunoașterii fenomenelor vitale, a funcțiilor vitale, a importanței fiecăruia în mersul general al dezvoltării, fiziologia, servindu-se de observație și experiență, trebuie să împingă experiențele pînă la cunoașterea fenomenelor celulare. De aceea fiziologia plantelor face apel la metode ce aparțin citologiei, biofizicii și biochimiei.

Fiziologia plantelor se sprijină mult pe biofizică și pe biochimie. De altfel, dezvoltarea fiziologiei a fost ajutată în mod deosebit de aceste două științe. Fizicienii și chimiștii sînt primii care au pătruns în sfera atrăgătoare a vieții și au cercetat elemente ale fiziologiei plantelor. Grație metodelor fizice și chimice, astăzi se studiază viața plantelor la nivelul infrastructurilor componentelor celulare, la nivelul atomo-molecular. Cele două științe studiază procesele fizico-chimice din organismul viu vegetal și deosebirea

Scanned with OKEN Scanner

lor față de cele din materia lipsită de viață. Biochimia plantelor studiază mecanismele chimice ale proceselor vieții plantelor (deci numai o latură a proceselor biologice), iar biofizica plantelor însușirile fizice ale sistemului viu și procesele fizice care se desfășoară în acest sistem (deci o altă latură a proceselor biologice). Însă biochimia și biofizica plantelor nu pot să explice prin ele înșile esența proceselor fiziologice, nu pot să dea imaginea sintetică a organismului viu, pe care o dă fiziologia. Orice proces vital trebuie analizat ca proces fiziologic, deoarece simpla cunoaștere a proceselor fizico-chimice nu poate explica viața (mișcarea biologică), forma superioară de mișcare a materiei.

Analiza fenomenelor vitale este o parte extrem de importantă a fiziologiei plantelor, însă partea analitică nu trebuie să micșoreze valoarea părții sintetice. O prezentare completă a vieții plantelor se poate face numai dacă se îmbină datele analitice cu cele sintetice.

Fiziologia plantelor studiază fenomenele vitale, funcțiile plantelor în interacțiune cu condițiile mediului exterior (lumină, temperatură, umiditate, substanțe nutritive etc.). Viața unei plante nu poate fi înțeleasă decît numai în această interacțiune. A studia viața plantelor fără să se țină seama de condițiile mediului în care trăiește planta este de neconceput. Chiar atunci cînd se studiază numai un organ, trebuie ca studiul să aibă în vedere legătura dintre structura organului și funcțiile pe care le îndeplinește în condițiile de viață în care trăiește.

2. Raportul dintre fiziologia plantelor și celelalte științe biologice și agronomice

Fiziologia plantelor are raporturi în primul rînd cu morfologia vegetală, din cadrul căreia fac parte: citologia, anatomia, sistematica ș. a. Științele morfologice și cele fiziologice alcătuiesc o unitate indisolubilă. Ele nu pot fi concepute izolat, pentru că nicăieri în natură nu există formă vie lipsită de funcție și invers.

Fiziologia plantelor are strînse raporturi și cu ecologia plantelor, care se ocupă cu studiul relațiilor dintre plante și mediu, la nivelul populațiilor, speciilor și biocenozelor.

Raporturi foarte strînse are fiziologia plantelor și cu biofizica, și biochimia plantelor, folosind cunoștințe biofizice și biochimice în explicarea mecanismelor funcțiilor vitale.

Fiziologia plantelor are legături strînse și cu științele agronomice. Fiecare succes al fiziologiei plantelor, fie el cît de mic, aduce după sine realizări în agricultură. Științele agronomice iau de la fiziologia plantelor date obținute pe cale experimentală cu privire la nutriția plantelor, sinteza substanțelor organice, creștere, dezvoltare, rolul și circulația apei etc. și le aplică în practică. Aceste științe se îmbogățesc an de an cu datele furnizate de fiziologia plantelor. Pentru diferitele științe agronomice, fiziologia plantelor este un izvor de cunoștințe și de indicații, care le ajută să progreseze an de an.

Scanned with OKEN Scanner

Desigur că fiziologia plantelor se îmbogăţeşte şi ea cu datele ştiinţelor agricole şi ale practicii agricole. Problemele pe care le ridică producţia agricolă sînt un stimulent pentru dezvoltarea fiziologiei plantelor. Practica agricolă, punînd fiziologiei plantelor diferite probleme, contribuie la cunoaşterea cît mai exectă a vieţii plantelor, dar şi la verificarea exactă a cunoaşterii. Cunoaşterea nu se poate verifica decît prin practică.

3. Metodele de cercetare ale fiziologiei plantelor

Fiziologia plantelor este o ştiinţă experimentală şi are ca metodă principală de cercetare *metoda experimentală.*

Prin experienţă se înţelege provocarea unui răspuns, a unei reacţii la un anumit factor ales de experimentator, perfect controlabil (de exemplu lumina, temperatura etc.) sau la un complex de factori într-un mediu cu ceilalţi factori constanţi.

Metoda experimentală permite stabilirea mecanismelor funcţionale şi explicarea lor. Prin experienţă se constată acţiunea unui factor într-un proces şi se stabileşte modul în care are loc procesul studiat. În felul acesta, studiul procesului se adînceşte, se dezvăluie esenţa fenomenelor acestui proces.

Pentru a exemplifica aplicarea metodei experimentale să ne referim la fotosinteză. Procesul a fost descoperit pe baza unei experienţe. S-a plecat de la faptul cunoscut că animalele „viciază" aerul, care devine impropriu vieţii lor. Nu se cunoştea însă dacă aerul viciat de animale este impropriu plantelor verzi. Experienţa, care a constat în ţinerea unei plante verzi în aerul viciat, a arătat că plantele pot trăi în astfel de aer. Concluzia care s-a tras din această experienţă a fost că la plantele verzi există un proces prin care se „purifică" aerul. Această concluzie s-a dovedit justă prin organizarea de alte experienţe care au elucidat însăşi esenţa procesului fotosintezei. Experienţele au arătat că numai plantele verzi sînt capabile de fotosinteză, că procesul are loc numai la lumină, că fotosinteza este un proces fotochimic, că clorofila are rolul de a capta energia solară şi de a o transforma în altă formă de energie etc. Experienţa este numai unul din procedeele de cercetare ale fiziologiei plantelor ; ea se completează cu interpretarea teoretică, prelucrarea matematică etc.

Fiziologia plantelor foloseşte şi *metoda observaţiei,* însă această metodă, care este principală pentru anatomia şi morfologia vegetală, este subordonata metodei experimentale. Fiziologia plantelor se foloseşte atît de observaţia cu ochiul liber, cît şi de observaţia microscopică, atunci cînd se studiază funcţiile celulelor şi ţesuturilor.

Dar numai metoda experimentală nu poate explica pe deplin procesele fiziologice. De aceea, ea trebuie completată cu *metoda istorică,* prin care se cercetează evoluţia proceselor în cursul dezvoltării filogenetice, influenţa condiţiilor de mediu din epocile trecute. Numai în felul acesta se pot explica unele particularităţi ale plantelor cum sînt : culoarea verde, nutriţia lor cu bioxid de carbon din aer, circulaţia apei prin vase lemnoase, respiraţia aerobă etc.

Scanned with OKEN Scanner

În general, în cercetarea unui proces fiziologic, cercetătorul trebuie să aibă în vedere următoarele: aspectul fenomenologic, rolul factorilor externi (ecologia procesului), rolul factorilor interni (baza biofizică și biochimică a procesului), legătura cu alte procese fiziologice și interdependența dintre acestea, evoluția procesului în ontogenie și în filogenie și caracteristicile procesului la diferite grupuri de plante.

4. Problemele pe care le studiază fiziologia plantelor și sarcinile ei de viitor

Fiziologia plantelor studiază numeroase procese fiziologice, dintre care amintim: fiziologia celulară, regimul de apă al plantelor, nutriția plantelor cu substanțe minerale din sol, nutriția plantelor cu bioxid de carbon din aer, respirația plantelor, transformarea și circulația substanțelor organice în corpul plantelor, creșterea și dezvoltarea plantelor, rezistența plantelor la diferitele condiții externe nefavorabile (temperaturi joase, temperaturi înalte și lipsă de apă, exces de săruri etc.).

Bazele teoretice ale acestor procese fiziologice sînt create, și în privința acestora, la ora actuală, fiziologia plantelor dispune de numeroase date experimentale. Totuși, în toate procesele amintite sînt încă lacune. De aceea, menirea fiziologiei este de a le înlătura rînd pe rînd, în măsura în care, bineînțeles, metodele de cercetare îi permit aceasta.

Fiziologia plantelor, ca știință de bază în învățămîntul agronomic superior, are în primul rînd menirea să lărgească orizontul agronomilor asupra vieții plantelor de cultură, asupra cărora agronomia intervine prin diferite mijloace tehnice. Fiziologia plantelor, înarmînd pe agronom cu cunoștințe despre viața plantelor, îi dă posibilitatea să aplice cunoștințele agrotehnice în cele mai bune condiții.

Pentru sprijinirea științifică a agriculturii, fiziologia plantelor trebuie să-și adîncească anumite aspecte ale proceselor fiziologice pe care le studiază; în felul acesta, această știință, care este socotită baza teoretică a agriculturii raționale — după expresia lui K. A. Timireazev, va putea sprijini și munca amelioratorilor.

Fiziologiei plantelor îi revine sarcina să-și orienteze astfel cercetările, încît să contribuie la mărirea cantității și calității produselor vegetale, furnizînd noi procedee agrotehnice ca: aplicarea hormonilor vegetali, folosirea de noi îngrășăminte chimice, procedee noi pentru dirijarea creșterii și dezvoltării plantelor etc.

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul I

FIZIOLOGIA CELULEI VEGETALE

Corpul plantelor nu reprezintă o masă vie omogenă. Materia vie care alcătuiește corpul viu al plantelor este structurată sub formă celulară.

Celula vegetală reprezintă unitatea morfologică și fiziologică ce formează baza microscopică a plantelor și care are un plan de structură asemănător cu cel al celulei animale.

Observată la microscop, celula, din punct de vedere morfologic, cuprinde două părți principale: 1) protoplasma (materia vie); 2) membrana celulară care înconjoară protoplasma la periferie.

Partea esențială a celulei vegetale, ca și a celei animale, este conținutul viu, adică protoplasma, pentru că în ea se petrec fenomenele vieții, viața. Membrana celulară are un rol neesențial, dar totuși important. Ea protejează materia vie împotriva acțiunii diferiților factori externi.

La plantele microscopice, cu organizație inferioară (bacterii, unele ciuperci și alge), celula poate reprezenta însăși corpul plantei. În corpul acestor plante numite *monocelulare* se petrec toate fenomenele vitale care caracterizează materia vie.

La plantele microscopice cu organizație superioară (muscinee, pteridofite și spermatofite), corpul este format din mii, sute de mii, milioane și miliarde de celule asociate în țesuturi, care, la rîndul lor, formează organele plantei (rădăcină, tulpină, frunzele, florile etc.). Însă corpul plantelor cu organizație superioară nu trebuie să se considere o colonie de celule, ci o unitate morfologică funcțională de ordin superior. La aceste plante, numite și *pluricelulare*, materia vie din celulele lor formează o unitate funcțională perfectă. Materia vie a unei celule este legată de materia vie a celulelor

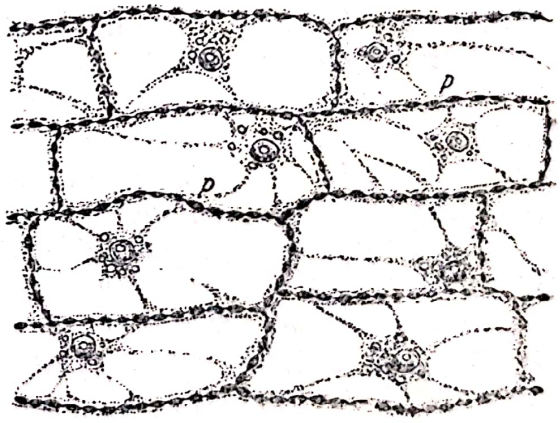


Fig. 1. Epidermă inferioară a unei frunze de *Tradescanția*:
p — plasmodesmele (după Verzilin)

vecine prin firișoare extrem de fine de plasmă numite *plasmodesme,* care străbat membrana celulară poroasă (fig. 1). Datorită acestei legături, între protoplasmele celulelor se asigură o unitate funcțională în interiorul organelor și țesuturilor, între organe și țesuturi, deci unitatea organismului vegetal. În acest sistem, fenomenele vieții se desfășoară ca și în sistemul viu al unei plante monocelulare, cu singura deosebire că în el se dezvoltă și structuri intracelulare specializate, pe lîngă cele care se găsesc în toate celulele. Corpul plantei superioare este format din foarte multe categorii de celule cu grade diferite de specializare, dar în toate celulele se desfășoară procesele fundamentale caracteristice materiei vii. Țesuturile care formează organele, ca și organele însăși, se deosebesc prin funcțiile diferite pe care le îndeplinesc și, în legătură cu acestea, și prin formă, mărime, ele fiind rezultatul diferitelor adaptări la funcție.

1. Compoziția chimică a materiei vii celulare

Cercetările chimice arată că în compoziția materiei vii celulare (protoplasmei) se găsesc aceleași elemente care există și în materia nevie. La nivel elementar, asemănarea materiei vii cu materia nevie este deplină, fapt care confirmă teza materialist-dialectică despre unitatea materială a lumii. Totuși, unele deosebiri există. Analizele chimice arată că în compoziția materiei vii a celulelor intră un număr variabil de elemente. Materia vie din celula microorganismelor cuprinde în mod constant 11 elemente diferite, pe cînd cea a plantelor superioare 14 elemente diferite. Dacă se ține seama de toate organismele vegetale studiate pînă în prezent din punct de vedere chimic, se constată că în compoziția lor intră circa 60 de elemente diferite.

Elementele care se găsesc în mod regulat în materia vie vegetală sînt următoarele: carbonul, oxigenul, hidrogenul, azotul, sulful, fosforul, potasiul, calciul (lipsește de la unele microorganisme), magneziul, fierul, cuprul, zinul, manganul și borul.

Cunoștințele noastre cu privire la compoziția materiei vii, deși nu sînt complete, ne dau posibilitatea să cunoaștem că la nivel chimic există totuși unele deosebiri specifice între materia vie și cea nevie, și una dintre ele este numărul elementelor. Aceste cunoștințe nu ne dau însă posibilitatea să explicăm particularitățile specifice, deosebirea esențială dintre materia vie și cea nevie, felul în care se asociază elementele și ce fel de compuși rezultă din asocierea lor. Or, tocmai aici stă deosebirea esențială între cele două feluri de materie. De aceea, pentru a ne explica aceste deosebiri este necesar să cunoaștem compoziția moleculară a materiei vii.

În *compoziția moleculară* a materiei vii vegetale intră numeroase molecule complexe de compuși chimici cu mulți atomi, care nu se întîlnesc în materia nevie. Acești compuși poartă numele de „substanțe organice", și

ei sînt aceia care conferă materiei vii calităţi noi care o deosebesc de materia nevie compusă din molecule simple cu puţini atomi.

Substanţele organice sînt compuşi chimici de ai carbonului. În compoziţia lor chimică intră, alături de atomii de carbon (C) şi alţi atomi: de oxigen (O), hidrogen (H), sulf (S) şi uneori de fosfor (P).

După compoziţia lor chimică moleculară şi proprietăţile lor fizice şi chimice, substanţele organice esenţiale care fac parte din compoziţia materiei vii celulare (protoplasmei) sînt: *proteinele, acizii nucleici, lipoidele şi lipidele, glucidele, vitaminele, hormonii* şi *enzimele.*

Dintre substanţele menţionate, în cantitatea cea mai mare se găsesc proteinele şi compuşii lor. Vitaminele, hormonii şi enzimele se găsesc în cantitate extrem de mică.

Pe lîngă substanţele organice, în compoziţia materiei vii celulare intră şi o serie de substanţe anorganice cum sînt: *apa şi sărurile minerale.* În materia vie celulară apa se găseşte în cantitatea cea mai mare. Ea reprezintă trei sferturi din substanţele componente ale materiei vii. Sărurile minerale reprezintă o mică parte.

a. *Compuşii organici esenţiali din materia vie celulară*

1) **Proteinele.** Sînt componentele principale care intră în alcătuirea materiei vii celulare. Ele sînt totodată considerate ca purtătorii principali ai fenomenelor vitale. Rolul deosebit al proteinelor a fost relevat încă de *F. Engels,* care a definit viaţa ca forma de existenţă a substanţelor proteice.

Proteinele au o serie de însuşiri fizice şi chimice, care determină rolul lor de substrat material principal al materiei vii. Ele au moleculele mari şi complexe, alcătuite din molecule mai mici de aminoacizi, care se leagă între ele prin legături peptidice (NH—CO), şi uneori sulfhidrice (—SH), alcătuind lanţuri lungi polipeptidice care, în majoritatea lor, se înfăşoară în spirală (fig. 2). Aminoacizii, cărămizile de construcţie a proteinelor, sînt alcătuiţi, la rîndul lor, din următoarele elemente: carbon, hidrogen, oxigen, azot, uneori sulf şi fosfor.

Proteinele complexe au o greutate moleculară foarte mare. Greutatea moleculară a majorităţii proteinelor simple este egală cu aproximativ 34 500, însă a celor complexe este de 2, 3, 4, ... ori mai mare.

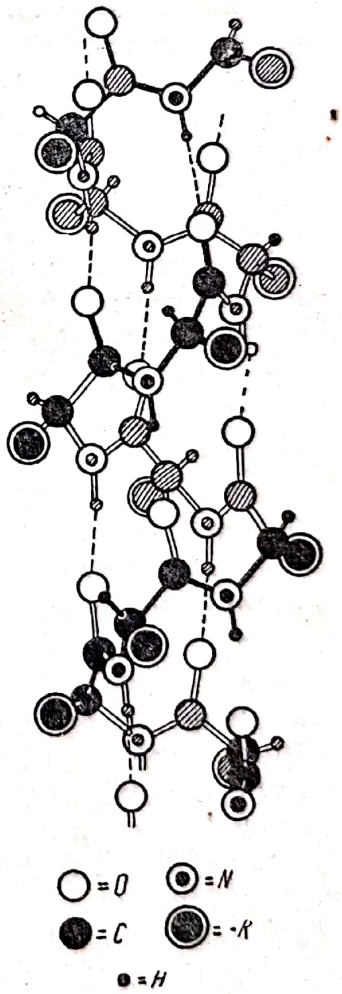


Fig. 2. Fragment dintr-o macromoleculă liniară de proteină înfăşurată în elice

ei sînt aceia care conferă materiei vii calităţi noi care o deosebesc de materia nevie compusă din molecule simple cu puţini atomi.

Substanţele organice sînt compuşi chimici de ai carbonului. În compoziţia lor chimică intră, alături de atomii de carbon (C) şi alţi atomi: de oxigen (O), hidrogen (H), sulf (S) şi uneori de fosfor (P).

După compoziţia lor chimică moleculară şi proprietăţile lor fizice şi chimice, substanţele organice esenţiale care fac parte din compoziţia materiei vii celulare (protoplasmei) sînt: *proteinele, acizii nucleici, lipoidele şi lipidele, glucidele, vitaminele, hormonii* şi *enzimele.*

Dintre substanţele menţionate, în cantitatea cea mai mare se găsesc proteinele şi compuşii lor. Vitaminele, hormonii şi enzimele se găsesc în cantitate extrem de mică.

Pe lîngă substanţele organice, în compoziţia materiei vii celulare intră şi o serie de substanţe anorganice cum sînt: *apa şi sărurile minerale.* În materia vie celulară apa se găseşte în cantitatea cea mai mare. Ea reprezintă trei sferturi din substanţele componente ale materiei vii. Sărurile minerale reprezintă o mică parte.

a. *Compuşii organici esenţiali din materia vie celulară*

1) **Proteinele.** Sînt componentele principale care intră în alcătuirea materiei vii celulare. Ele sînt totodată considerate ca purtătorii principali ai fenomenelor vitale. Rolul deosebit al proteinelor a fost relevat încă de *F. Engels,* care a definit viaţa ca forma de existenţă a substanţelor proteice.

Proteinele au o serie de însuşiri fizice şi chimice, care determină rolul lor de substrat material principal al materiei vii. Ele au moleculele mari şi complexe, alcătuite din molecule mai mici de aminoacizi, care se leagă între ele prin legături peptidice (NH—CO), şi uneori sulfhidrice (—SH), alcătuind lanţuri lungi polipeptidice care, în majoritatea lor, se înfăşoară în spirală (fig. 2). Aminoacizii, cărămizile de construcţie a proteinelor, sînt alcătuiţi, la rîndul lor, din următoarele elemente: carbon, hidrogen, oxigen, azot, uneori sulf şi fosfor.

Proteinele complexe au o greutate moleculară foarte mare. Greutatea moleculară a majorităţii proteinelor simple este egală cu aproximativ 34 500, însă a celor complexe este de 2, 3, 4, ... ori mai mare.

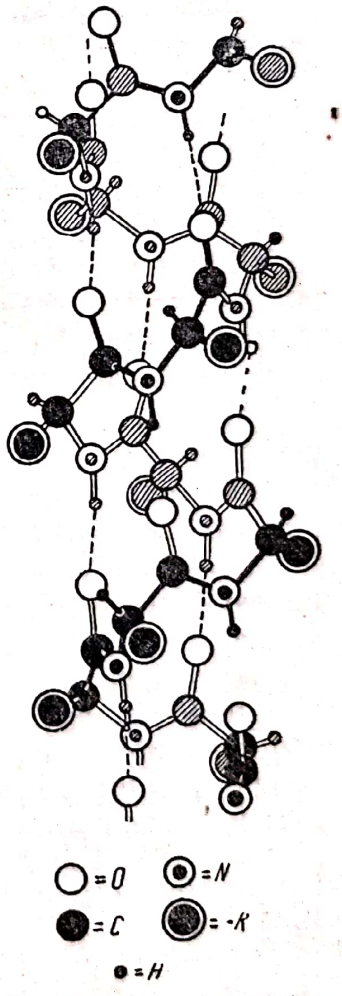


Fig. 2. Fragment dintr-o macromoleculă liniară de proteină înfăşurată în elice

În molecula proteinelor s-au găsit pînă în prezent 26 de aminoacizi, dintre care cel mai simplu este glicocolul :

$$CH_2 \cdot NH_2 \cdot COOH$$

Aminoacizii conținînd o grupare acidă (—COOH) și una bazică (—NH_2) pot reacționa între ei, dar totodată pot forma combinații de felul sărurilor atît cu acizii, cît și cu bazele. Din această cauză sînt numiți substanțe amfotere sau amfoliți. Prin disociere ei formează ioni care au, în același timp, o încărcătură pozitivă și una negativă :

$$NH_2 \cdot R \cdot COOH \rightleftarrows {}^{+}NH_3 \cdot R \cdot COO^{-}$$

Prin această însușire ei se deosebesc de ionii minerali proveniți din descompunerea sărurilor.

Caracterul de amfolit se întîlnește și la moleculele proteinelor ori cît de complexe ar fi ele. La suprafața lor ele au resturi de aminoacizi cu grupări libere : COOH, NH_2, CH_3, OH, care se pot combina între ele (cele bazice cu cele acide) și să dea naștere la complexe proteice, sau micele, sau cu alte substanțe de altă natură (prin grupările —CH_3, OH), dînd naștere la lipoproteine, nucleoproteide, cromoproteide, metaloproteide. Prin această proprietate, proteinele ocupă poziția centrală în metabolismul celulei, caracterizat prin complexitate și dinamism.

Și proteinele, ca și aminoacizii din care este alcătuită molecula lor, sînt amfoliți. În funcție de *p*H proteinele disociază ca anioni sau cationi. De la punctul izoelectric spre partea acidă ele disociază ca o bază și se încarcă electric pozitiv, iar spre partea bazică a punctului izoelectric disociază ca acizi și se încarcă negativ.

Moleculele proteinelor sînt în permanentă schimbare și reînoire. Ele posedă printre altele capacitatea de a fixa apă la suprafața lor datorită sarcinilor electrice, fenomen numit hidratare, și proprietatea de a fixa apă în interiorul lor, fenomen denumit îmbibație și care la bază are aceeași cauză.

2) **Lipidele.** Din această categorie de substanțe fac parte gliceridele, fosfoaminolipidele, steridele și ceridele etc. Gliceridele, substanțele grase propriu-zise, sînt esteri de ai glicerinei cu acizii grași saturați și nesaturați. Ele servesc ca substanțe nutritive. Fosfoaminolipidele, dintre care cele mai răspîndite sînt lecitinele, sînt tot esteri de ai glicerinei cu acizi grași, dar mai conțin în molecula lor și o moleculă de acid fosforic, și o moleculă de colină (bază azotată). Aceste substanțe se găsesc în special în membranele plasmatice și membranele diferitelor organe celulare. Fiindcă molecula lor are și proprietăți hidrofile, pe lîngă cele hidrofobe, se pot combina cu alte substanțe hidrofile, de exemplu cu proteinele și să dea naștere la combinații lipoproteice.

Steridele, esteri de ai acizilor grași cu anumiți alcooli monovalenți ciclici numiți steroli, au ca și lecitinele o mare importanță în organizarea și funcționarea materiei vii celulare. Și ele, ca și lecitinele, posedă funcții hidrofile, alături de cele hidrofobe.

Scanned with OKEN Scanner

3) **Acizii nucleici.** Sînt componente esențiale ale materiei vii celulare. Sînt substanțe macromoleculare. Au molecula formată dintr-un lanț dublu în formă de elice (spirală). Molecula se aseamănă cu o scară în spirală, ale cărei vanguri sînt formate din ribozofosfat, iar treptele din patru baze azotate: adenina și guanina (baze purinice), și citozina și uracilul (baze piridinice), asociate în perechi (fig. 3). Fiecare spirală este compusă din verigi de patru tipuri, numite nucleotizi, care sînt formați fiecare dintr-un glucid, o moleculă de acid fosforic și dintr-o bază azotată.

Se cunosc doi acizi nucleici: acidul ribonucleic (ARN) și acidul dezoxiribonucleic (ADN). Aceștia se deosebesc între ei după felul glucidului și bazelor care intră în compoziția lor. În compoziția moleculei ARN-ului intră glucidul riboza și bazele adenina, guanina, citozina și uracilul, iar a moleculei de ADN glucidul dezoxiriboza și bazele adenina, guanina, citozina și metiluracilul sau timina. Aceste baze se află într-o anumită succesiune, și înlocuirea uneia cu alta, de exemplu a citozinei cu uracilul sau a adeninei cu guanina, duce la pierderea activității lor biologice.

Formulele chimice ale glucidelor și bazelor azotate sînt următoarele:

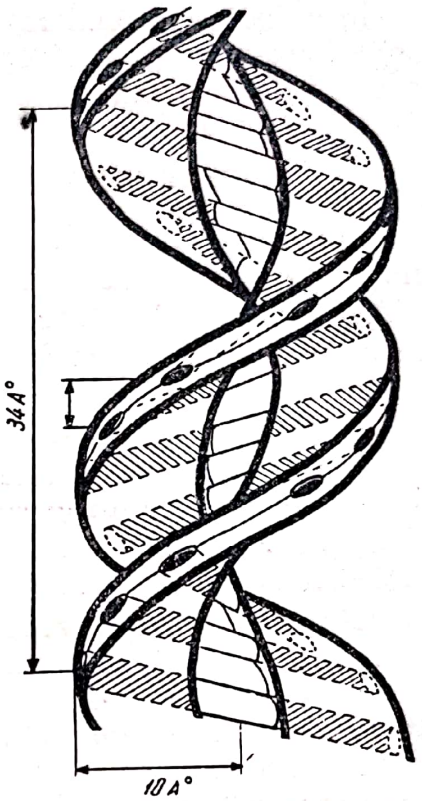
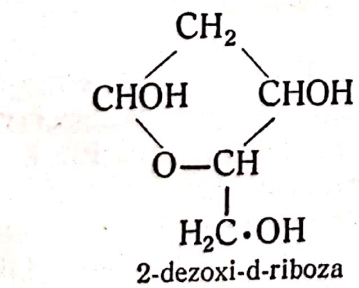
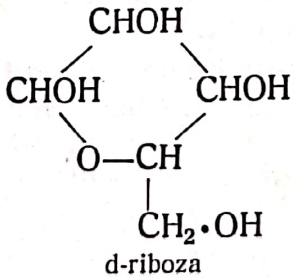
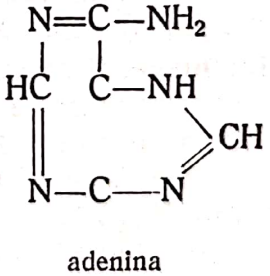
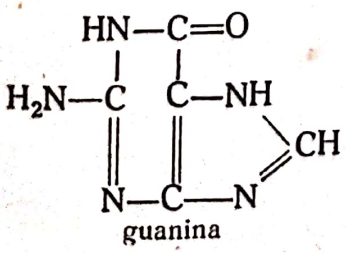


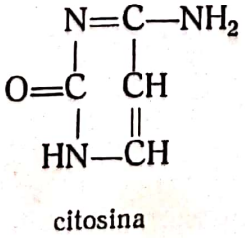
Fig. 3. Structura elicoidală a acidului dezoxiribonucleic: spiralele reprezintă catenele de pentoză-acid fosforic, iar liniile înclinate, bazele azotate. Dubla spirală elicoidală cu diametrul de 10 Å, în care un nucleotid înalță spira cu 3,4 Å. O spiră completă este formată din 10 nucleotide (34 Å)

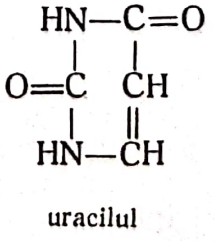

2-dezoxi-d-riboza

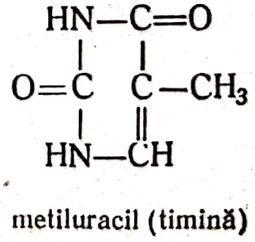

d-riboza


adenina


guanina


citosina


uracilul


metiluracil (timină)

În materia vie celulară acizii nucleici se găsesc asociați cu proteinele, formînd așa-numitele nucleoproteide, care au o mare importanță în formarea unor structuri celulare și în multe procese fiziologice și biochimice. Proteinele care intră în combinație cu acizii nucleici și dau naștere nucleoproteidelor sînt histonele, cu greutatea moleculară mică și un pronunțat caracter bazic.

În materia vie sînt prezente și alte substanțe organice apropiate ca compoziție chimică de acizii nucleici. Acestea sînt: adenozinmonofosfatul (AMP), adenozindifosfatul (ADP), adenozintrifosfatul (ATP), difosfopiridinnucleotidul (DPN) și trifosfopiridinnucleotidul (TPN). Toate aceste substanțe sînt de însemnătate esențială pentru funcționarea materiei vii celulare. Adenozintrifosfatul este acumulatorul universal de energie în lumea vie.

4) **Glucidele.** Se întîlnesc în materia vie ca monozaharide (glucoză, fructoză, riboză), ca dizaharide (zaharoza) și ca polizaharide (amidonul sau glicogenul). Amidonul se întîlnește la plantele verzi, iar glicogenul la ciuperci și alte organisme inferioare.

Glucidele sînt substanțe ternare. Ele au molecula formată din elementele: carbon, hidrogen și oxigen. Din punctul de vedere al compoziției chimice elementare se aseamănă cu gliceridele, însă elementele se găsesc în alte raporturi. Monozaharidele și dizaharidele se găsesc în stare de disoluție în materia vie, pe cînd polizaharidele, sub formă de granule incluse în masa materiei vii. Toate glucidele, cu excepția ribozei care participă la alcătuirea moleculei acizilor nucleici, îndeplinesc rol energetic și de materie primă pentru diferitele sinteze din cadrul materiei vii, pentru formarea de membrane celulare.

5) **Vitaminele.** Sînt substanțe organice cu moleculă uneori foarte complexă. În materia vie se întîlnesc vitaminele din grupa B(B_1—B_{12}), vitamina C, vitamina H, vitamina P.P., vitamina E, vitamina F, acidul pantotenic, acidul folic ș. a., cu excepția vitaminelor din grupa A și D. Acestea din urmă se întîlnesc numai ca provitamine. Provitamina A este carotenul, iar provitamina D este ergosterolul.

6) **Enzimele.** Sînt substanțe de natură proteică. Ele catalizează majoritatea reacțiilor chimice care stau la baza activității vitale a materiei vii celulare. Unele dintre enzime sînt simple proteine, altele sînt proteine asociate cu o altă substanță organică, care poate fi o vitamină sau cu un metal (Fe, Cu, Zn, Mn, Mg, Ni, Mo ș. a.), formînd așa-numitele metaloproteide.

Enzimele fiind elaborate de către materia vie celulară se numesc biocatalizatori.

7) **Hormonii.** Sînt substanțe organice de natură acidă, care controlează creșterea și alte procese celulare. Dintre acestea menționăm acidul beta-indolilbutiric sau *heteroauxina,* hormonul comun tuturor plantelor verzi, care are un mare rol în creșterea în grosime și în suprafață a membranelor celulare. Din grupa hormonilor fac parte și *giberelinele,* descoperite la multe plante superioare și inferioare (ciuperci parazite), kinetinele ș. a.

Scanned with OKEN Scanner

b. *Compușii anorganici din materia vie*

Dintre compușii anorganici care intră în compoziția materiei vii celulare fac parte *apa* și diferitele *săruri minerale.*

1) **Apa.** Din punct de vedere cantitativ, apa stă în fruntea tuturor componentelor chimice ale materiei vii celulare. Conținutul în apă al materiei vii celulare, în stare de activitate intensă, este în medie de 80%. Numai în celulele semințelor și altor organe supuse uscării, cantitatea de apă poate să coboare chiar sub 10%, însă în asemenea stări de deshidratare excesivă, materia vie celulară trece în stare de viață latentă, de anabioză. Conținutul în apă variază cu vîrsta celulei și în raport cu activitatea ei în cadrul organismului.

Apa îndeplinește multe funcții în cadrul materiei vii ; ea este mediul pentru reacțiile chimice și totodată element de structură. Apa care servește ca mediu de reacție se numește „apă liberă", iar apa de structură, fixată de proteine, lecitine, acizii nucleici (nucleoproteide), polizaharide etc. este numită „apă legată". Apa legată este reținută de proteine prin legături de hidrogen. Grupările care formează legături de hidrogen sînt : —OH, —COOH, $—NH_2$, ≡NH, =CO, —SH. Fiecare grupă amidică poate lega 2,6 molecule de apă, ceea ce reprezintă 4,5% din apa totală.

Apa este mediul de dizolvare, permite disocierea electrolitică, are rol catalitic etc.

2) **Sărurile minerale.** În materia vie celulară, pe lîngă apă se găsesc și diferite substanțe anorganice, în cea mai mare parte dizolvate în apă. Se întîlnesc sub formă disociată de ioni de azotat (NO_3^-), fosfat (PO_4^{---}), carbonat (CO_3^{--}, CO_3H^-), sulfat (SO_4^{--}), de potasiu (K^+), de calciu (Ca^{++}), de magneziu (Mg^{++}), de fier (Fe^{++}, Fe^{+++}), de cupru (Cu^{++}), de zinc (Zn^{++}), de mangan (Mn^{++}), de bor (BO_3^-) etc. sau de combinații complexe ale unor enzime ale respirației, în cloroplaste (Mg).

Sărurile minerale, cu toate că sînt substanțe anorganice, au și ele funcții importante în materia vie celulară. Unele săruri fixîndu-se pe proteine și pe lecitine, contribuie la reglarea permeabilității membranelor plasmatice. Alte săruri dizolvate joacă rol important în procesele fizico-chimice ale difusiunii, osmozei, catalizei, echilibrului acido-bazic, stării de hidratare, în menținerea stării dinamice a materiei vii etc.

2. Proprietățile fizice ale materiei vii celulare

Studiul compoziției moleculare a materiei vii din celula vegetală ne arată că ea este un complex de substanțe în care predominante sînt : apa, proteinele, lipo-proteidele și nucleo-proteidele.

În acest complex, primul loc este ocupat de apă, care reprezintă în medie 80% din greutatea vie a materiei vii în stare activă.

Deoarece materia vie conține o cantitate așa de mare de apă, ea manifestă proprietățile unui lichid. Un caracter de lichid pe care îl are materia

Scanned with OKEN Scanner

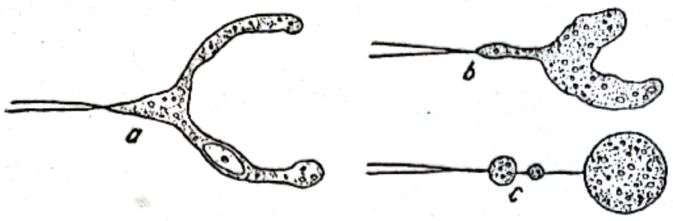


Fig. 4. Elasticitatea protoplasmei. Protoplasma lipită de ac se întinde, pentru ca să se contracteze din nou sub forme din ce în ce mai rotunjite (*b* și *c* după Plowe)

vie este tensiunea superficială datorită căreia, atunci cînd este scoasă din celule, ia forma sferică, caracteristică pentru picăturile lichide. Alt caracter de lichid este mișcarea de rotație în interiorul celulei și curenții care străbat cavitatea celulară, cum se observă în celulele plantelor de apă ca: *Elodea, Vallisneria* etc.

În țara noastră, aceste mișcări au fost amănunțit studiate de Emil Pop (1948) la planta de apă *Ruppia transilvanica* și la un număr mare de plante labiate (6 specii de *Lamium* și 18 specii de *Salvia*). Emil Pop a observat mișcarea protoplasmei și în perii absorbanți, în perii frunzelor, în perii filamentului staminelor etc. Un alt indiciu că materia vie are proprietățile unui lichid este și forma nestabilă. Materia vie ia forma celulei după cum lichidele iau forma vasului în care sînt puse.

Cu toate că materia vie din celulele vegetale prezintă multe însușiri pe care le întîlnim la lichide, are și unele care indică existența unei anumite structuri. Astfel, materia vie are viscozitate, care este mai mare ca a apei (de circa 18 ori), și de aceea ea este considerată ca o masă semilichidă, cu consistența uleiului de ricin.

În afară de viscozitate, materia vie are o elasticitate pe care lichidele nu o au. Supusă întinderii (fig. 4), ea se întinde, și cînd forța de întindere încetează ea își revine la starea inițială, dacă bineînțeles forța n-a depășit o anumită limită. Dacă suportă o presiune nu prea mare, materia vie se deformează, însă își revine la starea inițială cînd încetează presiunea. Aceste două însușiri sînt cel mai bun indiciu că materia vie din celulele vegetale trebuie să aibă organizare. La aceste însușiri se adaugă și nemiscibilitatea ei cu apa. Materia vie scoasă din celule și pusă într-o picătură de apă rămîne bine delimitată, ea nu se dizolvă în apă, ci doar își mărește dimensiunile datorită îmbibiției. Desigur că există și substanțe lichide nemiscibile cu apa, cum sînt uleiurile, dar aceste lichide au o natură chimică foarte diferită.

În sfîrșit, o altă proprietate socotită ca esențială și care indică în mod sigur existența unei structuri este separarea ei reversibilă. Sub influența anumitor factori, materia vie se poate separa în substanțe deosebite prin viscozitatea lor și indicele lor de refracție.

Starea coloidală a materiei vii vegetale

Materia vie este un sistem coloidal heterogen foarte complex. Este alcătuită din substanțe organice cu molecule mari (macromolecule) care au caracter coloidal, la care se adaugă soluții moleculare (de glucide etc.) și soluții de electroliți mai mult sau mai puțin ionizați. Mediul de dispersie a tuturor acestor stări îl constituie apa.

Scanned with OKEN Scanner

In chimia coloidală, sub denumirea de stare coloidală se înțelege starea de fragmentare (dispersie) foarte puternică a materiei în mediul în care se află. În cazul sistemului viu, mediul dispersat este format în primul rînd din micele coloidale care sînt agregate de macromolecule organice, de proteine, lipo-proteide și de nucleoproteide, dar printre care predomină proteinele.

Substanțele coloidale ale materiei vii aparțin clasei emulsioizilor (particule lichide dispersate în mediu lichid). Ele îmbracă fie starea de hidrosol coloidal, fie cea de hidrogel coloidal, după condițiile fiziologice în care se află materia vie și după acțiunea factorilor care o influențează. În condițiile de activitate intensă a celulei, materia vie îmbracă starea de hidrosol coloidal, iar în condițiile de activitate slabă îmbracă starea de hidrogel coloidal. Această proprietate a materiei vii de a trece de la starea de hidrosol la cea de hidrogel se numește *gelificare*. Procesul este reversibil pentru că materia vie poate să treacă de la starea de hidrogel la cea de hidrosol, proces care poartă numele de *tixiotropie*. În general, materia vie este un hidrogel coloidal cu proprietăți tixiotrope. Trecerea de la starea de hidrosol la starea de hidrogel și invers determină natura proceselor metabolice și deci natura funcțiilor vitale. Astfel apariția curenților citoplasmatici este legată de starea de hidrosol. Diviziunea celulară însă este legată de starea de hidrogel.

Dispersia coloidală a substanțelor organice face ca suprafața micelelor să fie foarte mare în raport cu volumul lor, fapt care aduce după sine mărirea considerabilă a suprafeței de schimb între faza micelară și intermicelară, să ia o valoare mare fenomenele de adsorbție a enzimelor și a altor substanțe care joacă un mare rol în sintezele substanțelor. În procesele care au loc la suprafața micelelor, un rol mare joacă și tensiunea interfacială.

De o însemnătate deosebită pentru stabilitatea sistemului viu coloidal și funcționarea sa este și sarcina electrică a micelelor. Între micele și alte substanțe încărcate electric (moleculele de apă, ionii minerali) au loc fenomene de atracție și de respingere și se creează forțe de atracție între particulele încărcate cu electricitate de semn contrar și, respingere, cînd micelele coloidale și ionii poartă sarcini electrice de același semn. Ca rezultat al acestei acțiuni, în sistemul coloidal viu se păstrează o stabilitate relativă, dar dinamică.

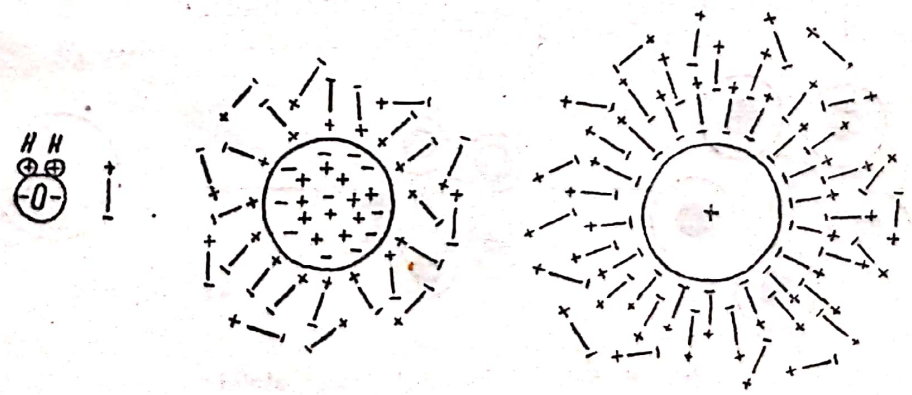


Fig. 5. Hidratarea coloidului :
stînga — schemă model de molecule de apă (dipol) ; *mijloc* — hidratarea coloidului la punctul izoelectric ; *dreapta* — hidratarea coloidului încărcat electric pozitiv (după P a l m a n n)

Scanned with OKEN Scanner

E de subliniat că la menținerea stabilității un mare rol îl joacă învelișurile de apă care se formează în jurul micelelor coloidale. Moleculele de apă fiind încărcate electric (un pol al moleculei are electricitate negativă și celălalt pozitivă) sînt atrase de micele și formează în jurul lor un înveliș continuu alcătuit din mai multe straturi (fig. 5). Acest fenomen se numește *hidratare*, iar micelele care atrag moleculele de apă se numesc *coloizi hidrofili*. Fenomenul de hidratare este caracteristic și ionilor minerali prezenți în sînul materiei vii. Hidratarea crește la ionii cu diametrul mai mic și invers, cum se poate vedea din tabelul 1.

Tabelul 1

Diametrul ionilor și cifra de hidratare
(după Goldschmidt)

Ionul	Diametrul	Cifra de hidratare	Ionul	Diametrul	Cifra de hidratare
Li	1,56	6	Mg	1,56	9—13
Na	1,96	4	Ca	2,12	8—10
K	2,66	2,5	Sr	2,54	—
NH_4	2,86	—	Ba	2,86	6—8
Pb	2,98	2	H	0,7	4
Cs	3,30	—	H_3O	2,90	3

Ordinea de hidratare a ionilor este :

$$Li>Na>H_3O>K>Rb>Cs$$

$$Mg>Ca>Sr>Ba$$

$$Cl>Br>I \ (4, 2, 1).$$

Micelele coloidale atrag și ioni, datorită sarcinii lor electrice care, la micelele de proteine, sînt atît negative, cît și pozitive. Ele se înconjoară cu un strat dublu electric, care constă din ioni negativi și ioni pozitivi.

În sistemul coloidal viu există și substanțe coloidale care n-au afinitate pentru apă. Acestea sînt grăsimile. Ele se numesc *coloizi hidrofobi*.

Coloizii amestecați între ei și avînd sarcini electrice opuse iau aspectul unei stări speciale numite *coacervare*. Micelele coloidale din sînul materiei vii se aglomerează pentru a forma complexe mai mari sub forma de picături vizibile la microscop, care poartă numele de *coacervate* (fig. 6).

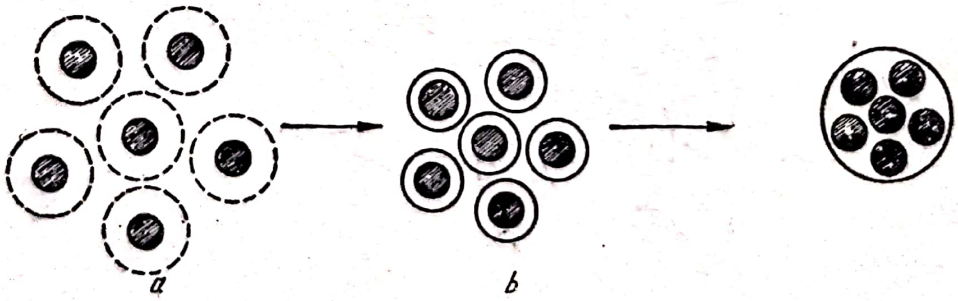


Fig. 6. Schema formării coacervatului :
a — particule coloidale puternic hidratate; *b* — stratul de hidratare se micșorează; *c* — adunarea particulelor asemănătoare pentru a forma un coacervat (după Budenberg și Jong)

In coacervat, micelele coloidale se concentrează într-o cantitate redusă de solvent.

O particularitate importantă, care caracterizează sistemul coloidal viu, este precipitarea și coagularea. În anumite condiții (acumulare mare de ioni minerali în sistemul viu), micelele, pierzînd învelișul lor apos, se apropie, se contopesc și precipită. Fenomenul este reversibil. În alte condiții (de tensiune ridicată sau foarte scăzută), micelele pot să piardă și apa de hidratare și să coaguleze. Fenomenul este ireversibil.

Astăzi se consideră de către unii cercetători că materia vie dintr-o celulă este un coacervat mare, în sînul căruia se găsesc coacervate mai mici.

3. Organizarea submicroscopică și ultramicroscopică a materiei vii celulare

Am văzut că materia vie din celula vegetală are un caracter de lichid, însă e greu să ne închipuim că numeroasele reacții care se petrec în sînul ei pot să aibă loc într-un lichid complet lipsit de structură.

In materia vie se află un număr considerabil de mare de substanțe care pot să ajungă în contact și să reacționeze unele cu altele, dînd combinații toxice. Cît timp celula este vie, astfel de combinații toxice nu se formează, și aceasta ne determină să presupunem că substanțele trebuie să fie separate spațial în plasmă, că materia vie trebuie să aibă o structură incompatibilă cu mișcarea liberă a substanțelor sale.

De mult s-a încercat să se descopere această structură cu ajutorul procedeelor folosite de microscopie, însă s-a văzut că ele sînt nesatisfăcătoare. Progrese mari în această direcție au fost făcute din momentul în care s-au folosit metode mai fine de cercetare : metoda optică de polarizare și analiza roentghenografică. Aceste metode, la care s-a adăugat în ultimii 15 ani metoda microscopului electronic, au permis clarificarea structurii foarte fine a materiei vii.

Microscopul electronic în special a deschis larg fereastra în lumea invizibilă a celulei vegetale, ca și animale, și ceea ce ne-a dezvăluit a răsturnat concepția despre structura materiei vii, care s-a susținut de decenii.

La o putere de mărire de 1 000 000 de ori și chiar mai mult, în materia vie se observă structuri care în trecut nici nu puteau fi bănuite. Astfel, au fost descoperite numeroase membrane compuse din molecule de proteine și lipoide, dispuse în straturi ; s-a dovedit că citoplasma nu are structura omogenă, ci eterogenă, foarte complicată etc.

Noi cunoaștem că la microscopul obișnuit materia vie din celule se prezintă ca o masă semilichidă transparentă, aparent omogenă și continuă, în interiorul căreia se găsește situat un corpuscul rotund sau oval — *nucleul*. Masa semifluidă și transparentă care înconjoară nucleul se numește *citoplasmă*.

Citoplasma. Fixată cu acetatul de uranil, văzută la microscopul electronic, nu este omogenă. Ea este compusă dintr-un material fundamental coloidal, limpede, care, după S t r u g g e r, constituie mediul lichid de dispersiune al materiei vii. În citoplasmă există foarte numeroase elemente de

structură, spiralate, care au o anumită orientare în jurul vacuolelor și sînt orientate diferit în restul plasmei. Ele sînt foarte dese în plasma celulelor meristematice și din ce în ce mai rare în plasma celulelor diferențiate și crescute. S. Strugger a numit spiralele submicroscopice, răspîndite în citoplasmă, *citoneme*. Acestea, după toate probabilitățile, reprezintă resturi ale citoscheletului citoplasmei.

La microscopul electronic s-au mai observat în masa citoplasmei, ici și colo, pachete de fibrile, formațiuni lamelare etc. Pe baza acestor observații, Strugger a întocmit schema pe care o ilustrăm în figura 7. Conform acestei scheme, faza dispersă a hidrosolului plasmatic ar fi reprezentată prin citonemele spiralate, izolate între ele. Faptul nu infirmă teoria reticulară a materiei vii celulare elaborată de Frey-Wissling (1957), dat fiind că la grosimea foarte mică a secțiunilor, acestea n-au putut prinde în cîmpul lor decît unele segmente ale rețelei citoplasmatice, și nu rețeaua în întregime, de unde și aspectul citonemelor izolate între ele.

Recent, Frey-Wissling, revenind asupra teoriei sale inițiale, consideră că formațiunile filamentoase ale rețelei citoscheletice sînt formate din șiraguri de macromolecule proteice globulare înșirate în șiraguri liniare, între ele existînd puncte de legătură ce se pot rupe și reface ușor prin acțiunea diferitelor influențe fizico-chimice și biologice. Acest fapt conferă citoplasmei o stare de echilibru dinamic.

Ori care ar fi adevărul acestor ipoteze, un lucru este cert, că structura citoplasmei asigură segregarea și orientarea spațială a constituenților săi, împiedicînd amestecul diferitelor substanțe care iau parte în reacțiile celu-

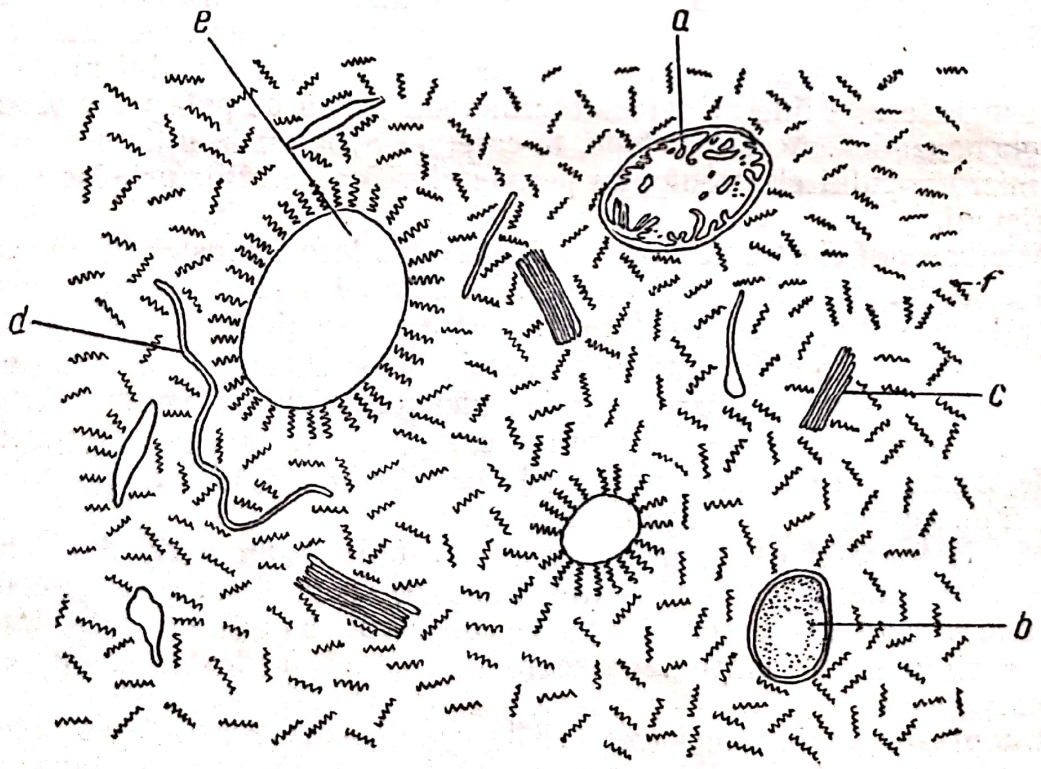


Fig. 7. Schema structurii citoplasmei:
a — mitocondrie; *b* — microzomi (ribozomi); *c* — pachet de fibrile; *d* — formațiune lamelară; *e* — vacuolă; *f* — citoneme (după Strugger)

lare. In citoplasmă au loc unele reacții ca: oxidarea anaerobă a glucozei pînă la acid piruvic, descompunerea hidrolitică a proteinelor, dezaminarea unor aminoacizi necesari proceselor metabolice etc. La această constatare s-a ajuns datorită punerii în evidență în citoplasmă a unor enzime ca: aldolaza, fosfataza alcalină, dezaminaza, coenzima A și altele.

În masa citoplasmei s-au pus în evidență o serie de organite structurate. Dintre acestea fac parte: mitocondriile, ribozomii, plastidele și altele. Aceste organite localizate în masa citoplasmei sau pe pereții canaliculelor reunite în rețea ce străbat citoplasma îndeplinesc diferite roluri esențiale.

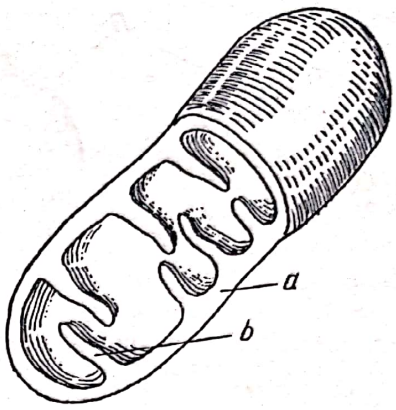


Fig. 8. Structura unei mitocondrii: *a* — învelișul mitocondriei; *b* — pereții interiori despărțitori (după G r e e n)

Mitocondriile. Sînt organite de formă ovală sau filamentoasă, situate în profunzimea citoplasmei. Ele se mișcă neîncetat cît timp celula este vie.

Mitocondriile sînt înconjurate de o membrană dublă, reprezentată prin două benzi întunecate, alcătuite din proteine cu un spațiu clar între ele, format din molecule de lipoide.

Interiorul mitocondriilor este compartimentat prin numeroși pereți despărțitori care pornesc de la peretele interior al membranei (fig. 8). Acești pereți au rostul de a mări suprafața internă a mitocondriei. Compartimentele comunică liber între ele.

Cercetările lui G. H. H o g e b o o m, E. L. K u f f și W. C. S c h n e i d e r (1957), G. E. P a l a d e și P. S i e k v i t z (1956) etc. arată că pe pereții despărțitori, care reprezintă grătarele mitocondriei, se găsesc localizate un număr considerabil de mare de enzime ale respirației, precum și alte enzime ca: fosfataza acidă și alcalină, adenozinfosfataza, proteaze, esteraze etc.

În mitocondrii au loc zeci de procese chimice. În ele, substanțele organice (zaharurile, proteinele, substanțele grase, acizii organici) care pătrund din citoplasmă se oxidează generînd energie. Tot în mitocondrii se creează legăturile macroergice de la nivelul adenozintrifosfatului (ATP) care, prin hidroliză, eliberează energia ce este folosită în miile de reacții chimice ce stau la baza proceselor vitale.

Pe baza acestor constatări, mitocondriile sînt considerate drept „uzinele energetice“ ale celulei.

Ribozomii. Pe pereții canaliculelor ce străbat citoplasma, P a l a d e și S j ö s t r a n d, în același timp, independent unul de altul, au descoperit cu ajutorul microscopului electronic un număr considerabil de mare de granule rotunde minuscule. Aceste granule, care au primit denumirea de granulele lui P a l a d e sau ultramicrozomi, sînt numite astăzi ribozomi.

Datorită prezenței acidului nucleic se consideră că microzomii sînt adevăratele sedii de sinteză a proteinelor. În jurul moleculei acidului ribonucleic, ca niște lanțuri pe un tambur, se înfășoară, verigă după verigă, aminoacizii care se asociază, formînd molecule de substanțe proteice.

Scanned with OKEN Scanner

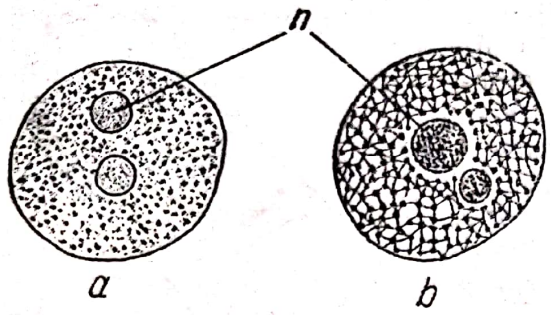


Fig. 9. Nucleul cu cromatină granuloasă — reticulară observat pe viu (*a*) și după fixare și colorare (*b*) (după Guilliermond)

Plastidele. Sînt alte formațiuni care se întîlnesc în masa citoplasmei. Se cunosc cloroplastidele din celulele verzi în care se sintetizează, în prezența luminii, glucidele din CO_2 și H_2O precum și unele proteine. De asemenea, se cunosc leucoplastidele, amiloplastidele, oleoplastidele în care se pot forma, prin reacții de condensare, poliglucide, substanțe grase etc.

Vacuolele. În sînul citoplasmei se întîlnesc vezicule pline cu un lichid numit suc vacuolar. Cînd celulele sînt tinere se observă un mare număr de vacuole difuz împrăștiate. În acestea se acumulează inițial apa, dar apoi și diferite substanțe. Cu timpul ele se împuținează ca număr, deoarece confluează între ele, ajungînd în cele din urmă, în celula matură, să formeze o singură vacuolă care ocupă centrul celulei.

Sucul vacuolar este o soluție apoasă. El conține apă în care se găsesc în stare dispersată diferite substanțe organice și minerale: glucide, acizi organici, ioni minerali etc.

La exterior, vacuolele sînt delimitate de o membrană numită *tonoplast*, care este formată din patru straturi de molecule lipoproteice. Această membrană este semipermeabilă și selectivă. Ea lasă să treacă prin ea ușor apa, dar nu și substanțele. Pe unele le lasă să treacă mai ușor, pe altele le lasă să treacă mai greu, iar pe altele de loc. Tonoplastul, prin urmare, e puțin permeabil pentru substanțe și manifestă o selectivitate. Pentru viața celulelor, vacuolele joacă un mare rol. Ele constituie o rezervă de apă și de diferite substanțe necesare pentru activitatea celulei, contribuind prin conținutul lor la absorbția apei din mediu.

Nucleul. Nucleul, un corpuscul de formă rotundă sau ovală, așezat în celua tînără în centrul celulei, iar la cea adultă la periferie, inclus în masa citoplasmei, are la exterior o membrană dublă perforată de numeroase orificii, pori, unde se găsesc un fel de ușițe sau ecluze care se închid și se deschid.

In interiorul nucleului se găsește un lichid plasmatic numit suc nuclear în care este dispersată o substanță colorabilă numită cromatină (fig. 9), constituită din acid dezoxiribonucleic și histone sau alte proteine. In timpul diviziunii nucleului, această substanță se organizează într-un filament care, prin diviziune, dă naștere la cromozomi ce au un rol însemnat în transmiterea caracterelor ereditare.

In nucleu sînt prezenți totdeauna unul sau mai mulți corpusculi numiți nucleoli. Acești corpusculi sînt constituiți din acid ribonucleic (ARN). Pe electrograme, nucleolii se prezintă sub formă sferică neregulată, complet lipsiți de membrană și alcătuiți dintr-o mulțime de granule minuscule, dispuse în cordoane ce formează o rețea deasă.

Nucleul joacă un mare rol în viața celulei. Cu ajutorul izotopilor radioactivi s-a stabilit că în anumite sectoare ale macromoleculei de ADN din

Scanned with OKEN Scanner

cromozomi, numite cistroni, se sintetizează ca pe o matriță acidul ribonucleic de informație (ARN-i), sinteză care este catalizată de ARN-polimerază. Acest acid care se deplasează în citoplasmă are rolul de a transmite informația genetică a ADN-lui din nucleu la ribozomii din citoplasmă alcătuiți dintr-un tip special de ARN, zis ribozomal (ARN-r), unde are loc sinteza proteinelor.

Pe de altă parte, pe baza energiei furnizate de ATP și cu ajutorul enzimelor sînt activați aminoacizii prezenți în citoplasmă și trecuți în ribozomi cu ajutorul unui acid ribonucleic transportor (ARN-t). Pentru fiecare aminoacid există un anumit tip de ARN-t. Pentru integrarea aminoacizilor în lanțul polipeptidic, aceștia se unesc cu tipul respectiv de ARN-t, ajung în ribozomi, și aici se sintetizează proteinele. ARN-t este pus în libertate, și astfel procesul poate reîncepe.

Dispunerea aminoacizilor în molecula proteică într-o anumită ordine în ribozomi se efectuează sub influența ARN-i, ajuns acolo după sinteza sa în nucleu. ARN-t și ARN-r din ribozomi sînt sintetizați tot în nucleu, cu participarea nucleolului.

Biologia moleculară, studiind manifestările fenomenelor și proceselor specific vitale la nivel molecular, arată că nici una din structurile amintite nu posedă, în mod izolat, însușiri vitale. Nucleul, mitocondriile, ribozomii, plastidele, deși în interiorul lor se petrec sinteze și descompuneri de substanțe organice, nu sînt vii. Ele însă posedă însușiri vitale în interacțiunea lor, în cadrul sistemului celular.

Biochimistul V. A. Engelhardt (1962) arată că nu se poate vorbi de viață la nivelul nici uneia din structurile moleculare izolate ale celulei, că nici nu se poate măcar defini dacă sistemul acid nucleic-proteină este viu, căci în afara celulei, sub formă de virus, el nu prezintă nici una din însușirile vieții.

În viața celulei, un rol important îl are și învelișul de la exteriorul materiei vii, numit *plasmalemă*. Plasmalema este o formațiune membranoasă formată din două straturi de molecule lipoproteice. Ea are aproximativ 14 Å grosime, cu un spațiu între ele de 50 Å. Această membrană este mai permeabilă decît tonoplastul, însă și ea este selectivă.

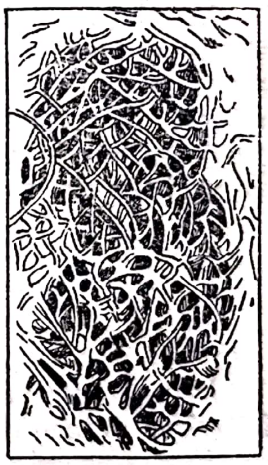


Fig. 10. Structura unei punctuații în membrana unei celule din rădăcina de porumb. Se vede țesătura microfibrilelor cu numeroși pori (după Mühlethaler)

4. Compoziția chimică, structura și proprietățile membranei celulare

Membrana celulară, învelișul extern al materiei vii, cuprinde în compoziția ei, în cea mai mare parte, celuloză și hemiceluloze, și cantități mici de proteine și substanțe pectice.

Elementele de structură ale membranei celulozice primare sînt microfibrilele, de regulă lung filamentoase, turtite, dispuse într-o țesătură încrucișată (fig. 10). Țesătura membranelor este destul de laxă,

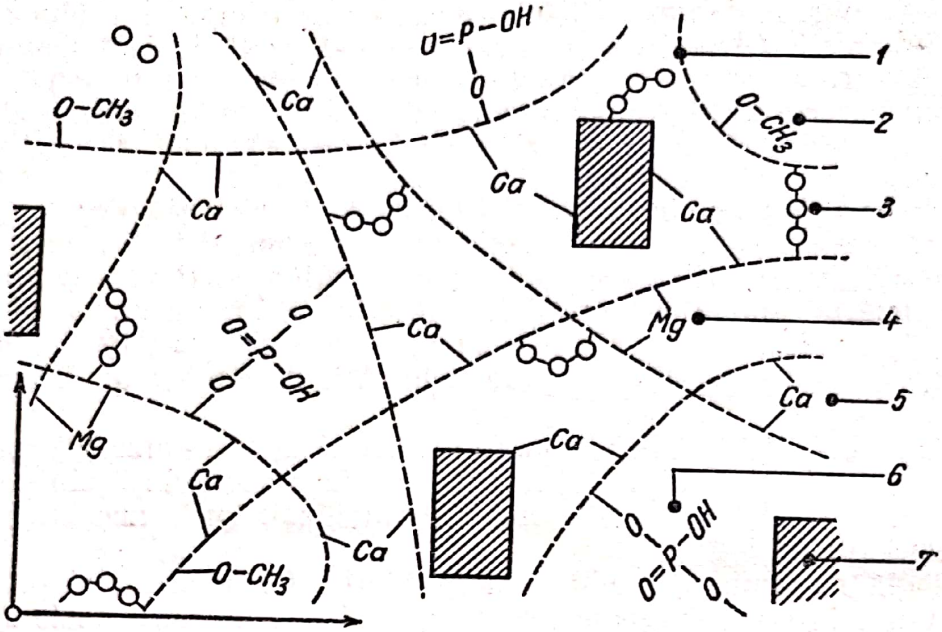


Fig. 11. Organizația structurală a membranei celulare:
1 — catenă pectică; *2* — legătură cu funcție metil; *3* — punte de hidrogen; *4* — legătură cu magneziu; *5* — legătură cu calciu; *6* — legătură cu fosfat; *7* — microfibrilă celulozică (secțiune transversală)

încît ochiurile formate sînt suficiente pentru a primi un volum mare de apă, de substanțe scheletice secundare sau, unde este cazul, de citoplasmă interfibrilară și de ioni minerali. Dintre aceștia din urmă, cei de calciu, de magneziu și fosfor intră în combinație cu substanțele pectice, constituind cimentul care leagă macromoleculele de celuloză între ele (fig. 11).

Membrana celulozică este elastică (însă elasticitatea ei este limitată); este de asemenea permeabilă pentru gaze, apă și diferitele substanțe dizolvate în apă. Permeabilitatea membranei se explică prin prezența numeroșilor pori ai acesteia. Datorită prezenței porilor, materia vie dintr-o celulă aparținînd unui organism pluricelular se poate lega cu materia vie din celulele vecine prin *plasmodesme,* firișoare fine de citoplasmă.

5. Proprietățile fiziologice ale celulei vegetale

Materia vie vegetală, organizată în celule, posedă cîteva proprietăți fiziologice, datorită cărora se deosebește de materia nevie. Dintre acestea menționăm pe cele mai importante:

Metabolismul. Pentru ca materia vie dintr-o celulă să-și mențină viabilitatea, între ea și mediu trebuie să existe un schimb permanent de substanțe și energie. La baza acestui schimb stau necontenitele prefaceri care se desfășoară în materia vie cu viteze mai mari sau mai mici. În permanență în materia vie se creează ceva și se distruge ceva. Ansamblul acestor transformări a primit numele de metabolism.

In materia vie, transformările de substanţe se desfăşoară în două direcţii opuse: 1) una de sinteză de substanţe mai complexe din substanţe mai simple şi care poartă numele de *asimilaţie* sau *anabolism*; 2) cealaltă de degradare a substanţelor complexe proprii materiei vii în substanţe mai simple, transformări care poartă numele de *dezasimilaţie* sau de *catabolism*. Deci, metabolismul are două laturi contrarii. Cercetările au scos în evidenţă că aceste laturi se condiţionează reciproc, în sensul că transformările catabolice aduc după ele necesitatea celor anabolice şi invers.

In materia vie, reacţiile care caracterizează procesul de asimilaţie şi de dezasimilaţie se petrec într-o ordine bine determimată şi coordonat, pentru că, după cum am văzut, ea are o organizare structurală foarte complexă.

Ca urmare a proceselor metabolice, în fiecare celulă vegetală vie, în orice clipă, substanţe străine devin proprii şi cele proprii se înstrăinează. Deci, ceea ce era extern devine intern, şi prin transformarea lor cele interne sfîrşesc prin a fi eliminate în exterior.

In legătură cu acest tansfer de materiale, în care substanţele participă la mii şi zeci de mii de reacţii, se reînnoiesc continuu şi se descompun şi se creează din nou, este de notat faptul că ele sînt însoţite în mod obligatoriu şi de transformări energetice. In fiecare sinteză are loc acumulare de energie şi în orice degradare a unei substanţe complexe se eliberează energie. Energia care se eliberează este energia chimică. In primă instanţă ea provine de la soare, fiind acumulată în plante în procesul de fotosinteză care are loc în celulele ce conţin clorofilă. In celula vegetală, energia chimică se poate transforma şi în alte forme de energie: electrică, mecanică, calorică, prin care se manifestă celelalte fenomene ale vieţii.

Din metabolism, proprietatea de bază a oricărei materii vii, derivă alte proprietăţi care sînt la fel de esenţiale şi care deosebesc fundamental materia vie de cea nevie. Acestea sînt excitabilitatea, creşterea, ereditatea şi variabilitatea, adaptarea şi perfecţionarea, înmulţirea.

6. Bazele fizico-chimice ale schimbului de substanţe la celula vegetală

S-a arătat ca viaţa celulelor vegetale, ca şi a celor animale, este menţinută numai dacă între ele şi mediu există un permanent schimb de substanţe şi de energie.

Celulele vegetale absorb din mediul în care se află apă, gaze, diferite substanţe organice şi minerale şi le transformă în substanţe proprii lor. Ele elimină totodată în mediu alte substanţe. Insă pentru ca să înţelegem modul cum celulele vegetale absorb sau elimină diferite substanţe, este necesar să ne reamintim de unele proprietăţi fizice ale materiei.

Din fizică se ştie că dacă se pun în contact direct două lichide de concentraţii diferite, de exemplu o soluţie de zaharoză colorată în prealabil şi apă distilată (fig. 12), se constată că soluţia de zahăr din vasul A pătrunde în apa distilată din vasul B. Acest fenomen a primit denumirea de *difuziune*. Fenomenul difuziunii deci are loc de la soluţia mai concentrată spre soluţia

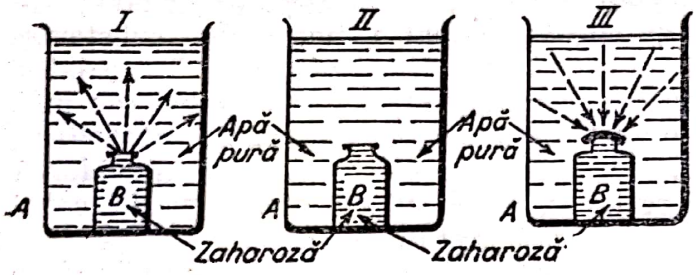


Fig. 12. Schema difuziunei unei soluții de zaharoză în apă

mai diluată, adică de la regiunea cu presiunea de difuziune mai mare spre regiunea cu presiunea de difuziune mai mică. Această mișcare a particulelor substanțelor se datorește energiei cinetice a acestora.

Difuziunea este un fenomen general. Este caracteristic tuturor substanțelor dizolvate și solvenților lor, precum și gazelor. Viteza de difuziune variază în limite largi. În genere, ea este cu atît mai mare, cu cît diferența de concentrație dintre soluțiile puse în contact este mai mare, și invers proporțional cu mărimea moleculelor și a ionilor. Cu cît moleculele sau ionii sînt mai mici difuzează mai repede și invers. De exemplu, ureea, acidul clorhidric, care au molecule mai mici decît zaharoza, difuzează mai repede decît aceasta din urmă. Dintre ioni, cei de H^+ și de OH^- difuzează foarte rapid. Coloizii care au molecule mari difuzează lent sau de loc.

Dacă între soluția de zaharoză și apa distilată se interpune o membrană poroasă (permeabilă) de colodiu sau de intestin animal (fig. 13), se constată că fenomenul difuziunii se complică. În primul rînd se constată că difuziunea se face cu întîrziere, iar în al doilea rînd că are loc de la soluția mai diluată (adică de la vasul cu apă distilată) spre soluția mai concentrată cu zaharoză, care se află în tubul de sticlă numit *osmometru*. Datorită acestui fapt se vede că lichidul se urcă în tubul de sticlă vertical pînă la un nivel care este cu atît mai ridicat, cu cît soluția de zaharoză este mai concentrată. Nivelul maxim fiind atins, lichidul rămîne staționar cîtva timp, apoi se coboară foarte lent. Dacă experiența ține mai mult timp, cele două lichide se nivelează și capătă aceeași compoziție de o parte și de alta a membranei ce le separă.

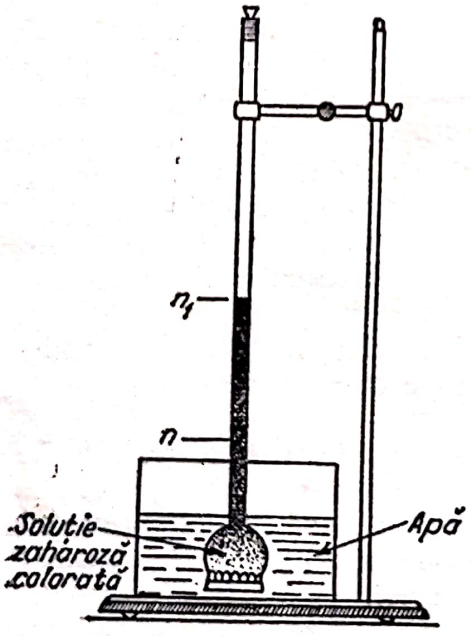


Fig. 13. Osmometrul Dutrochet pentru demonstrarea trecerii apei printr-o membrană permeabilă de intestin animal: n, n_1 — nivel inițial și final.

Experiența de mai sus ne arată două lucruri foarte distincte: 1) că apa difuzează mult mai repede decît zaharoza sau, cu alte cuvinte, că membrana întîrzie considerabil difuziunea zaharozei, dar nu și a apei; 2) că apa care pătrunde în osmometru are de învins presiunea hidrostatică dezvoltată prin urcarea lichidului în tubul vertical și care tinde a împiedica pătrunderea. Cînd presiunea este destul de puternică, ea se opune intrării unei noi cantități de apă. Moleculele de apă au deci pentru

moleculele de zaharoză o afinitate capabilă de a învinge presiunea hidrostatică. Se dă numele acestei afinități de *putere osmotică.*

Fenomenul difuziunii traversînd o membrană a primit numele de *osmoză.* Cînd curentul osmotic are loc în spre interior se numește *endosmoză,* iar cînd are loc din interior spre exterior se zice *exosmoză.*

Puterea osmotică care se naște în interiorul osmometrului și care se măsoară prin înălțimea coloanei de apă ridicată a primit numele de *presiune osmotică.*

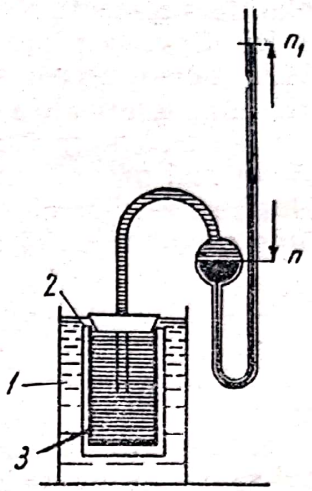


Fig. 14. Prototip de osmometru Pfeffer:
1 — apă; *2* — soluție de zaharoză; *3* — peretele vasului poros cu membrană semipermeabilă de precipitat (ferocianură de cupru); *n*, n_1 — nivelul inițial și final al mercurului din manometru

Măsurarea presiunii osmotice a soluției de zaharoză sau altor soluții se poate face numai cu osmometrul Pfeffer (fig. 14), construit dint-un vas poros ai cărui pereți porоși sînt acoperiți la interior de către o membrană de precipitat (de ferocianură de cupru) permeabilă pentru apă și impermeabilă pentru substanțe. Vasul este în legătură cu un manometru cu mercur. Cu acest aparat, presiunea osmotică se măsoară prin înălțimea la care se urcă Hg în manometru. Înălțimea coloanei de Hg e proporțională cu concentrația soluției (Legea lui Boyle-Mariotte) și cu creșterea temperaturii, și anume cu 1/273 pentru fiecare grad (1 : 273=0,00367). Relația care leagă presiunea osmotică a soluției de zaharoză sau a oricărei alte soluții de concentrație și de temperatură este următoarea :

$$P=C.R.T. \text{ atmosfere,}$$

în care :

P — reprezintă presiunea osmotică ;
C — concentrația molară ;
R — constanta gazelor=0,082 ;
T — temperatura absolută (273+t).

Conform relației de mai sus, presiunea osmotică a unei soluții molare de zaharoză care nu conduce curentul electric (1 Mol gram — 342 g — la litrul de apă) va avea, la temperatura de 0 °C, o presiune osmotică $P=1\times0,082\times273=22,4$ atmosfere, pentru că fac echilibrul unei coloane de Hg de 1 790 cm. Cunoscînd care este valoarea presiunii osmotice a unei soluții molare de zaharoză sau a unui alt neelectrolit, se poate ușor calcula presiunea osmotică și pentru o altă concentrație, folosindu-ne de formula de mai sus. În cazul unei soluții de zaharoză de 0,1 M, la temperatura de 0 °C, valoarea presiunii osmotice va fi de $0,1\times0,082\times273=2,24$ atmosfere.

Cu ajutorul osmometrului lui Pfeffer s-a putut stabili și presiunea osmotică a soluțiilor molare de substanțe electrolite, adică cele care disociază ioni.

Majoritatea substanțelor electrolite dezvoltă o presiune osmotică superioară aceleia a substanțelor neelectrolite la concentrații egale. Astfel,

soluțiile molare de NaCl, KCl, KNO_3 etc., care sînt săruri ale acizilor monobazici, dezvoltă o presiune osmotică de 1,5 ori mai mare decît soluțiile neelectrolite de aceeași concentrație. Soluțiile molare de Na_2SO_4, de K_2SO_4 etc., care sînt săruri ale acidului sulfuric bibazic, dezvoltă o presiune osmotică de 2 ori mai mare, iar soluțiile molare ale sărurilor acizilor tribazici — de 2,5 ori mai mare decît soluțiile neelectrolite de aceeași concentrație. Numai soluțiile sărurilor alcalino feroase ale acizilor bibazici dezvoltă aceeași presiune osmotică ca și soluțiile de neelectrolite la concentrații molare egale.

7. Celula vegetală ca sistem osmotic (turgescența, plasmoliza și deplasmoliza)

Celula vegetală poate fi comparată cu un osmometru Pfeffer, fără însă să o considerăm identică. Celula este vie.

În cazul celulei vegetale, ca și în experiențele menționate, este vorba de două lichide: cel dinăuntrul celulei — sucul vacuolar — și cel dinafara celulei — soluția de o sare. Aceste lichide sînt separate prin membrana pectocelulozică și protoplasmă cu membranele ei: plasmalema și tonoplastul.

Dacă se pune într-o picătură de apă o celulă vegetală vie care cuprinde o vacuolă mare centrală, se va constata la microscop că în celulă pătrunde apă care, acumulîndu-se în vacuolă, aceasta își mărește treptat volumul. Ca urmare, celula își va mări și ea treptat dimensiunile. Difuziunea apei în celulă, determinată de atracția pe care o exercită asupra ei substanțele osmotic active (glucide, săruri minerale, acizi organici etc.) din sucul vacuolar, are loc pînă la saturarea celulei complet cu apă. Datorită acestui fapt, celula atinge un volum maxim, iar membrana pectocelulozică ajunge să se găsească într-o stare de tensiune puternică. Celula vegetală, aflată în această stare, se spune că este turgescentă **(fig. 15)**.

Dacă celula în stare turgescentă se introduce într-o soluție concentrată (hipertonică), atunci, din cauza impermeabilității sacului plasmatic pentru această substanță, ea nu va intra în celulă, ci dimpotrivă va scoate apa din aceasta. Mai întîi va ieși apa din sucul vacuolar, și apoi în continuare din protoplasmă și din membrana celulozică. Această pierdere de apă este însoțită de o micșorare a volumului celulei, de o dispariție a presiunii de turgescență, de o contractare și de o desprindere a protoplasmei de membrana celulară. Spațiul dintre membrană și sacul plasmatic este umplut cu soluția dinafară, care a pătruns prin membrana permeabilă celulozică. În această stare se spune că celula este plasmolizată (fig. 16). Membrana celulară la o celulă plasmolizată, din cauza pierderii de apă, nu mai este întinsă, ci puțin contractată. Multe observații de bază privind relațiile osmotice ale celulei vegetale au fost făcute cu fragmente de epidermă interioară a solzilor din bulbi de ceapă, cu fragmente de epidermă a frunzelor de *Rhoeo, Tradescantia zebrina* ș.a.

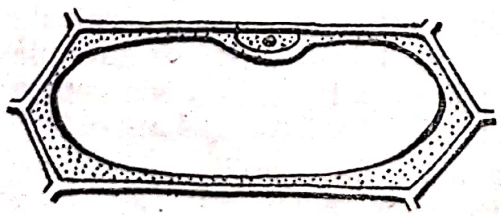


Fig. 15. Celulă vegetală saturată cu apă (turgescentă). Se vede că protoplasma este strîns lipită de membrana celulară

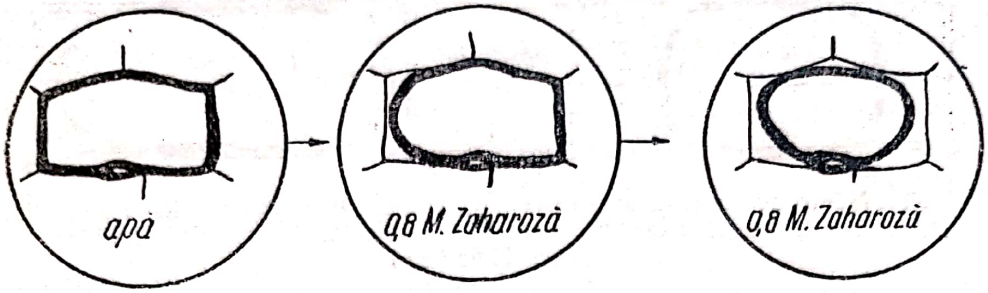


Fig. 16. Stadiile succesive ale ieșirii apei dintr-o celulă turgescentă cînd este transferată într-o soluție a cărei concentrație osmotică este mai mare decît a sucului vacuolar

Dezlipirea protoplasmei de membrana celulară nu se face deodată pe toată întinderea sa. Dezlipirea începe, de obicei, la colțurile celulei, apoi și de pe pereții laterali. De regulă, dezlipirea protoplasmei de membrană este neuniformă, protoplasma rămînînd, ici-colo, în legătură cu pereții celulari. În acest caz, protoplasma capătă o formă neregulată, unghiulară. Se obține așa-numita *plasmoliză concavă* (fig. 17). Pe urmă însă, din cauza tensiunii superficiale și a elasticității plasmei, colțurile rămase se retrag încet, și astfel plasma se desprinde complet de membrană, se contractă și capătă o formă sferică, cu o suprafață uniform convexă. Se obține așa-numita *plasmoliză convexă* (fig. 18). Timpul necesar plasmei pentru a trece de la starea de plasmoliză concavă la cea de plasmoliză convexă poate să servească ca indiciu pentru măsurarea vîscozității protoplasmei din celula vegetală.

Celulele plasmolizate își recapătă turgescența lor dacă sînt așezate în apă pură sau soluții hipotonice, adică cu concentrație mai mică decît soluția sucului vacuolar. Trecerea celulei de la starea de plasmoliză la starea de turgescență se numește *deplasmoliză*.

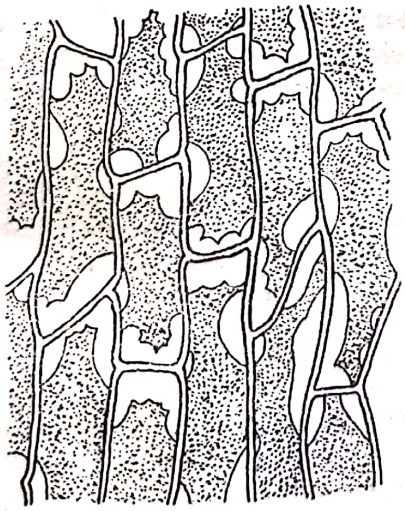


Fig. 17. Plasmoliză concavă (unghiulară) în celulele epidermei de ceapă

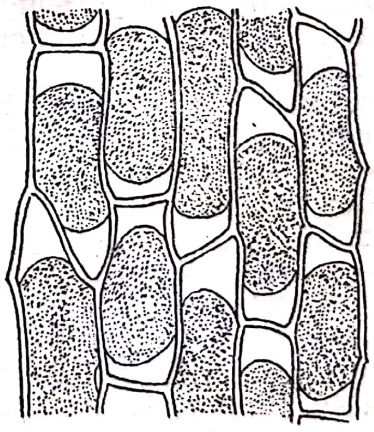


Fig. 18. Plasmoliză convexă (bombată) în celulele epidermei de ceapă

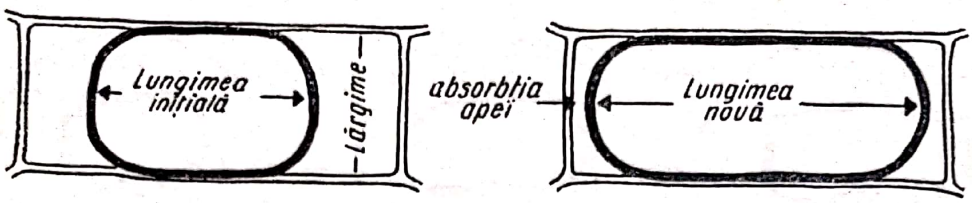


Fig. 19. Măsurarea intrării apei în celula vegetală prin metoda deplasmolizei. Creșterea în volum poate fi măsurată cu ușurință la celulele cilindrice (după H ö f l e r)

Fenomenele de plasmoliză și de deplasmoliză pot servi ca mijloc de măsurare a intensității cu care apa și substanțele dizolvate intră în celule. Pentru aceasta celula trebuie mai întîi plasmolizată. Dacă celula plasmolizată se așază din nou în apă, intensitatea cu care apa este absorbită poate fi apreciată după viteza cu care conținutul celulei crește în volum (fig.19). În mod similar se poate măsura intensitatea pătrunderii apei în celulă dacă se plasează celula în stare turgescentă într-o soluție hipertonică de o sare oarecare ; se constată o ieșire rapidă a apei, adică are loc plasmoliza. Dacă celula rămîne mai departe în soluție, soluția plasmolizantă va intra treptat în celulă, și concentrația osmotică a celulei se va mări. Datorită pătrunderii apei din nou în celulă, aceasta se va deplasmoliza. Intensitatea cu care se produce deplasmoliza datorită intrării agentului deplasmolizant în celulă poate fi folosită ca măsură pentru aprecierea permeabilității celulei vegetale.

a. *Legile care dirijează absorbția apei de către celulele vegetale*

Pătrunderea apei în celula vegetală din mediul exterior este determinată, pe de o parte, de însușirile coloidale, iar pe de altă parte de însușirile osmotice ale celulei.

Celulele vegetale care nu au vacuole mari (de exemplu cele din meristeme) sau sînt complet lipsite de vacuole (cele din semințele uscate) absorb apa prin îmbibiție. De exemplu, semințele dacă sînt puse în apă își măresc volumul. Această îmbibiție este determinată de faptul că membrana celulelor, protoplasma și substanțele nutritive de rezervă (amidonul, proteinele) sînt geluri coloidale uscate, ale căror micele atrag cu putere apa. În general, îmbibiția este fenomenul pătrunderii apei în gelurile coloidale datorită presiunii de difuziune și atracției adezive a îmbibatului pentru apă.

Cercetările arată că cea mai mare capacitate de îmbibiție o au substanțele proteice, apoi amidonul, celulozele. Aceasta explică deosebirea dintre diferitele semințe în ce privește capacitatea de imbibiție.

Semințele bogate în substanțe coloidale manifestă o capacitate de îmbibiție considerabilă, care trece de 1 000 de atmosfere. Creșterea în volum a semințelor datorită apei de îmbibiție arată prezența unei *forțe de îmbibiție*. Pe măsura saturației cu apă, această forță se micșorează foarte mult și devine nulă cînd semințele devin saturate cu apă.

Capacitatea semințelor de a absorbi apa cu o putere uriașă și de a o sustrage de la un alt corp mai umed are o însemnătate covîrșitoare pentru

germinație. Semințele, chiar dintr-un sol destul de uscat, pot să absoarbă o cantitate de apă suficientă pentru a începe să germineze.

După germinarea seminței începe creșterea rapidă a radiculei și a celorlalte părți ale embrionului seminței, și în interiorul celulelor apar vacuole pline cu suc vacuolar. Din acest moment absorbția apei nu mai este determinată numai de puterea de îmbibiție a coloizilor, ci și de difuziunea apei în sucul celular, care, după cum am văzut, este cauza presiunii osmotice a sucului celular.

S-a arătat mai înainte că dacă se introduc în apă fragmente de țesuturi care cuprind celule mature (adică cu vacuole mari), ele absorb apă, și volumul lor crește pînă la un anumit moment. Oprirea creșterii în volum a celulelor este determinată de presiunea contrarie pe care o exercită membrana celulară cu extensibilitate limitată. În această stare, pe care o putem numai starea de turgescență sau de saturație completă a celulei cu apă, presiunea osmotică a sucului celular (însemnată de obicei cu litera P) exercită o presiune hidrostatică asupra protoplasmei, și prin protoplasmă, asupra membranei celulare. Presiunea, în acest caz, este numită presiune hidrostatică de turgescență și este însemnată cu litera T. Membrana celulară, sub acțiunea presiunii de turgescență, se întinde elastic, și astfel se naște o presiune de sens contrar, care se înseamnă cu litera M. Această presiune de sens opus este totdeauna egală cu presiunea hidrostatică de turgescență (fig. 20).

Cînd celulele vegetale sînt complet saturate cu apă, potențialul lor osmotic P se realizează sub formă de presiune de turgescență care, la rîndul ei, este egalizată de presiunea contrară a membranei celulare. În aceste condiții $P=T=M$, apa nici nu poate să intre și nici să iasă din celule, ori cît de mare ar fi concentrația sucului vacuolar. Această situație, pe care o întîlnim totdeauna la celulele plantelor submerse, adică cele care au corpul cufundat în apă, nu o întîlnim niciodată la celulele plantelor de uscat, fiindcă acestea pierd permanent apă și nu ating starea de turgescență completă. Din această cauză o parte din potențialul lor osmotic P, care determină capacitatea acestor celule de a absorbi apă, rămîne neechilibrată de către presiunea de sens opus a membranei celulare. Datorită acestui fapt, în celulele plantelor de uscat presiunea de turgescență nu atinge mărimea sa maximă, adică P va fi tot timpul mai mare decît T. În acest caz, capacitatea de absorbție a celulelor va fi determinată de diferența dintre P și T, și nu de valoarea absolută a întregei presiuni osmotice. De aceea la plantele terestre

Fig. 20. Reprezentarea diagramatică, a intrării apei dinafară în celulă datorită concentrației osmotice a celulei, a presiunii de turgescență și a presiunii membranei celulare (după J. Bonner și A. Galston)

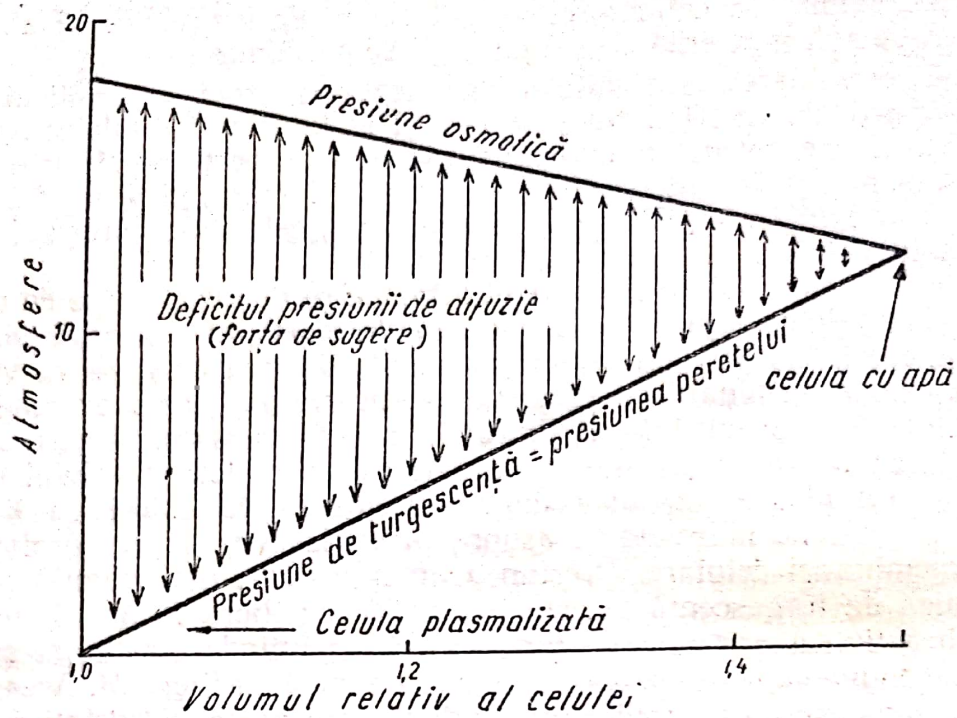


Fig. 21. Schema valorilor osmotice. Pe abscisă e trecut volumul celulei în stare de început de plasmoliză (1) și saturată cu apă (1,5). Pe ordonată sînt trecute presiunea osmotică, forța de sugere și presiunea membranei celulare (presiunea de turgescență) (după J. Bonner și A. Galston)

vom avea relația : $S=P—T$, în care valoarea S se numește *forța de sugere* a celulei. Forța de sugere pentru o celulă nu este o valoare constantă și depinde de gradul de saturație a celulei cu apă. În stare de turgescență, valoarea forței de sugere este egală cu zero, iar în stare de ofilire completă atinge valoarea maximă și este egală cu întreaga valoare a presiunii osmotice a sucului vacuolar.

Raportul dintre presiunea osmotică, presiunea de turgescență și forța de sugere se poate vedea din următoarea schemă (fig. 21).

Din schemă se poate deduce că valoarea presiunii osmotice este mai stabilă decît valoarea forței de sugere. Din această cauză, pentru caracterizarea însușirilor generale ale celulei se folosește valoarea medie a presiunii osmotice, iar pentru caracterizarea stării celulei într-un anumit moment, în special în legătură cu schimbarea rapidă a factorilor externi, se folosește forța de sugere.

b. *Metodele de măsurare a presiunii osmotice și a forței de sugere din celulele vegetale*

Măsurarea presiunii osmotice a sucului vacuolar poate fi făcută pe baza determinării concentrației sucului extras din țesuturile de plante (metoda crioscopică) sau a concentrației sucului vacuolar din celula vie (metoda plasmolitică).

1) **Metoda crioscopică.** Metoda crioscopică constă din extragerea sucului celular din țesuturile vegetale sub presiune mare. Se determină apoi concentrația osmotică a extractului prin scăderea punctului de înghețare, procedeu chimic standard, bazat pe faptul că punctul de înghețare al unei soluții apoase molare scade cu 1,86 °C sub punctul de înghețare al apei pure. Cunoscînd punctul de înghețare se poate ușor afla concentrația soluției pe baza căreia se determină apoi presiunea osmotică în atmosfere. Această metodă este incomodă în comparație cu metoda plasmolitică.

2) **Metoda plasmolitică.** Se determină concentrația osmotică plasînd o celulă sau fragmente de țesut vegetal într-o serie de soluții de concentrații diferite de zaharoză sau un alt agent plasmolizant. După un interval oarecare de timp (30—45 de minute), țesuturile din fiecare soluție sînt examinate la microscop și este luată în considerare acea concentrație a soluției care provoacă începutul de plasmoliză a plasmei din celule (fig. 22). În acest caz, concentrația soluției externe este ceva mai mare decît concentrația osmotică a sucului celular. Pentru a afla concentrația adevărată se face media între această soluție și soluția care nu provoacă începutul de plasmoliză. Acum, fiindu-ne cunoscută concentrația osmotică a sucului celular, putem ușor calcula în atmosfere valoarea presiunii osmotice a celulei, folosindu-ne de relația descrisă mai înainte pentru soluțiile neelectrolite și cele electrolite.

Măsurarea forței de sugere a celulelor vegetale se poate face ținînd celule în soluții de zaharoză de concentrații foarte diferite pînă cînd găsim soluția cu concentrația care nu provoacă intrarea apei în celulă și nici ieșirea apei în afara celulei.

Această metodă poate fi aplicată la fragmente sau discuri de țesuturi. Fragmentele sau discurile, înainte de a le introduce în soluții, sînt în prealabil cîntărite sau măsurate, și apoi, după ce au stat cîtva timp, se recîntăresc sau se măsoară din nou.

Presiunea osmotică a soluției care nu determină schimbarea în greutate sau în dimensiune a fragmentelor sau discurilor este egală cu forța de sugere a celulei și se exprimă în atmosfere.

Uneori se procedează la măsurarea volumului celulelor, însă metoda este dificilă, și valorile care se obțin sînt mult mai mari.

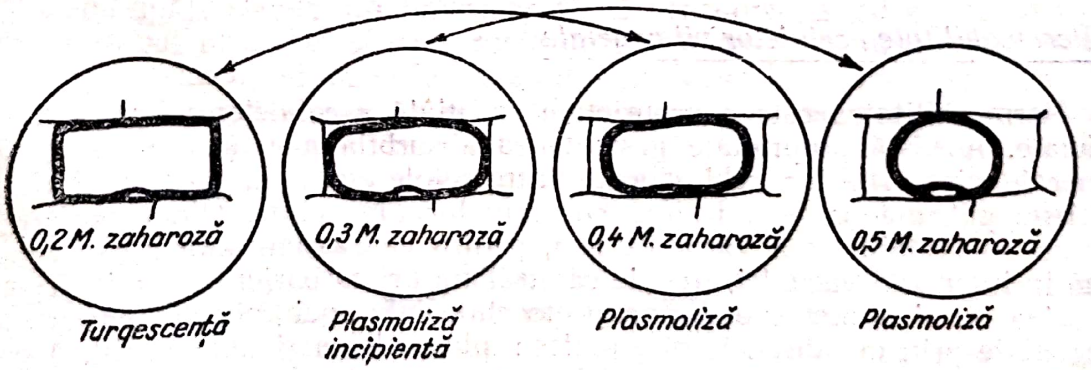


Fig. 22. Determinarea presiunii osmotice a celulei vegetale prin metoda plasmolitică (concentrația osmotică a conținutului celular la plasmoliza incipientă este echivalentă aceleia de 0,3 moli zaharoză)

Scanned with OKEN Scanner

3) **Metoda refractometrică.** O metodă mai bună pentru determinarea forței de sugere este cea refractometrică. Metoda constă din introducerea în soluții de zaharoză de concentrații diferite a unor fragmente de frunze sau alte țesuturi, unde se țin 25—30 de minute. Se scot apoi și se determină concentrația soluțiilor la refractometru. Dacă forța de sugere a frunzei este mai mare decît presiunea osmotică a soluției, frunza ia o parte din apa soluției, și aceasta se concentrează. În caz contrar, soluția se va dilua.

Presiunea osmotică a soluției a cărei concentrație rămîne neschimbată corespunde forței de sugere a celulelor țesuturilor care alcătuiesc organul vegetal.

Valoarea absolută a presiunii osmotice din celule este destul de mare. La plantele terestre variază între 1—10 atmosfere, la cele de apă dulce între 1—3 atmosfere. În rădăcinele de sfeclă, boabele de struguri, fructele cărnoase, bogate în zaharuri solubile în apă, presiunea osmotică atinge 20 și chiar 40 de atmosfere. La plantele care cresc pe soluri sărăturate sau în regiuni uscate, presiunea osmotică poate atinge valori de 60—80 de atmosfere. Valoarea presiunii osmotice la majoritatea plantelor este dată de acumularea în sucul vacuolar al celulelor de substanțe cu greutate moleculară mică (zaharuri, acizi organici, săruri minerale). La plantele halofile, cu presiunea osmotică considerabilă, valoarea presiunii osmotice depinde de acumularea acestor substanțe în sucul vacuolar al celulelor (mai ales NaCl).

Mărimea presiunii osmotice în celulă nu este o valoare constantă. Ea se schimbă mereu în funcție de mersul proceselor biochimice din celule. Astfel, cînd amidonul se transformă în glucoză, presiunea crește mult, pe cînd în cazul contrar, de acumulare a amidonului pe seama glucozei, presiunea scade. Acumularea acizilor organici, ca rezultat al oxidării incomplete a zaharurilor, determină de asemenea creșterea presiunii osmotice în celule.

Creșterea presiunii osmotice în celule, sub acțiunea factorilor externi sau interni, a primit denumirea de *anatonoză,* iar micșorarea ei, de *catatonoză.*

Diferitele celule dintr-un țesut au o presiune osmotică diferită, din care cauză în experiențele de plasmoliză se observă la microscop adesea că în unele celule protoplasma s-a desprins de-abia de membrană, în altele plasmoliza este foarte avansată.

c. *Permeabilitatea celulelor vii vegetale*

Permeabilitatea este o proprietate esențială a celulelor vii vegetale și animale. Această proprietate guvernează absorbția apei și a substanțelor minerale, circulația lor, schimburile dintre celule etc. Prin permeabilitate se înțelege pătrunderea sau ieșirea substanțelor din celule. Din experiențele arătate mai înainte s-a văzut că apa, pentru ca să pătrundă într-o celulă pînă în interiorul vacuolei, trebuie să străbată prima barieră ce se interpune în calea ei, și anume membrana pectocelulozică, apoi celelalte bariere reprezentate prin membranele plasmatice: plasmalema și tonoplastul. Aceste membrane se deosebesc prin însușirile lor. Cea pectocelulozică, cît timp nu-i cutinizată sau suberificată, este permeabilă pentru toate substanțele dizolvate în apă; ea nu oprește decît micelele coloidale. Membranele plasma-

Scanned with OKEN Scanner

tice sînt semipermeabile. Prin ele pot trece numai unele substanţe minerale şi organice cu moleculă mică. Substanţele cu moleculă mare nu pot trece prin ele.

După cum pătrund şi ies din celula vegetală, substanţele chimice pot fi împărţite în două grupe: 1) substanţe neionizabile sau care se ionizează puţin: glucidele cu moleculă mică (glucoza, fructoza, zaharoza, acizii organici etc.); 2) substanţe care se ionizează puternic (sărurile minerale).

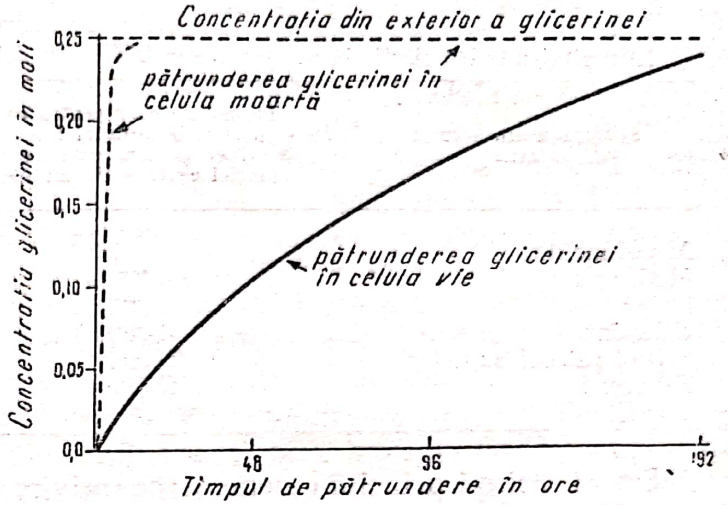


Fig. 23. Intensitatea pătrunderii unei soluţii de glicerină (neionizabilă) în celula vie şi în celula moartă de *Chara ceratophylla*

Pătrunderea glucidelor şi altor substanţe organice neionizabile se face după legea difuziunii, adică conform gradientului de concentraţie. Pătrunderea substanţelor puternic ionizate, de exemplu a KCl, $Ca(NO_3)_2$ etc. în celulele vegetale nu se face după legea difuziunii. Ionii proveniţi din disocierea acestor săruri sînt absorbiţi fiecare individual printr-un proces activ şi acumulaţi în interiorul celulelor.

1) **Pătrunderea substanţelor neionizante în celula vegetală.** Intrarea substanţelor neionizante în celula vegetală poate fi apreciată direct, analizînd conţinutul celulelor după ce bucăţi de ţesuturi au stat într-o soluţie de o sare oarecare care conţine substanţele ce ne interesează.

Această metodă a fost aplicată de fiziologul Collander, care a folosit pentru aceasta celule de *Chara ceratophylla*. Celulele se introduc în soluţii de diferite substanţe chimice, şi apoi se analizează periodic conţinutul în substanţe. În figura 23 este indicată pătrunderea glicerinei în celulele de *Chara*, introduse într-o soluţie diluată de glicerină (de 0,25 Moli gram la litrul de apă). Datele din figură arată că concentraţia glicerinei se măreşte cu timpul în celulă şi se apropie de limita de concentraţie a soluţiei externe. Experimentînd cu alte substanţe neelectrolite, Collander a ajuns să stabilească viteza de pătrundere a acestora pe baza comparării intensităţii pătrunderii diferitelor substanţe. Ca măsură poate fi timpul care este necesar pentru pătrunderea substanţelor în celulă pînă se atinge 1/2 din concentraţia soluţiei externe. Intensitatea pătrunderii neelectroliţilor se poate vedea din tabelul 2.

Alcoolul metilic pătrunde rapid, zaharoza extrem de încet. Această proprietate poate fi corelată cu afinitatea pentru solvenţii graşi.

Solubilitatea în uleiuri este primul principiu general ce guvernează pătrunderea multor substanţe în celule, ţinînd seama că membranele plasmatice sînt constituite din straturi de proteine şi lipoide. Acele substanţe care sînt mai solubile (stratul de lipoide) pătrund mai repede în celule.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 2

Intensitatea pătrunderii diferitelor neelectrolite în celulele de *Chara ceratophylla*

Substanța din soluția externă	Timpul necesar pentru ca concentrația soluției interne să atingă 1/2 din concentrația soluției externe (în minute)	Împărțirea substanței între ulei de măsline și apă. Cantitatea în ulei/ cantitatea în apă
Alcool metilic	1,3	$78 \times 10-4$
Metil uree	190	$4,4 \times 10-4$
Uree	320	$1,5 \times 10-4$
Glicerină	1 700	$0,7 \times 10-4$
Eritrol (alcool superior)	28 000	$0,3 \times 10-4$
Zaharoză	42 000	foarte puțin

Un al doilea principiu general cu privire la pătrunderea substanțelor în celulă vegetală este în legătură cu mărimea moleculelor. Moleculele mai mari pătrund mai încet decît moleculele mai mici, egal solubile în lipoide. Dacă ele sînt solubile în lipoide, pătrund prin straturile lipidice ale membranei. Moleculele mici pot pătrunde prin porii membranei o dată cu apa.

Cele constatate în experiențele cu celulele de *Chara* sînt valabile și pentru celulele plantelor superioare, însă trebuie să se aibă în vedere că la acestea celulele prezintă diferite detalii de permeabilitate. Multe celule de plante superioare arată aceleași proprietăți ca și celulele de *Chara*, însă la ele diferențele cantitative cu privire la permeabilitatea membranelor lor pentru diferitele substanțe sînt foarte mari. Astfel, de exemplu, ureea pătrunde în celulele de păpădie (*Taraxacum officinale*) de 200 de ori mai repede decît în celulele frunzelor de *Hippuris*.

2) **Pătrunderea substanțelor ionizate în celula vegetală.** Pătrunderea substanțelor ionizante, de exemplu a KCl, KNO_3, $Ca(NO_3)_2$ $NH_4(SO_4)_2$ etc., nu se face după legea difuziunii, cum pătrunde apa și substanțele neionizante, ci individual. Compușii ionici pot fi acumulați „activ" în interiorul celulei, încît concentrația unui ion poate ajunge de cîteva ori mai mare decît concentrația aceluiași ion din soluția externă.

Unele săruri ionizante pătrund repede în celule, însă altele mai greu. În general vorbind, intensitatea pătrunderii sărurilor ionizante este mult mai mică decît a moleculelor mici de uree sau de glicerină (substanțe neionizante).

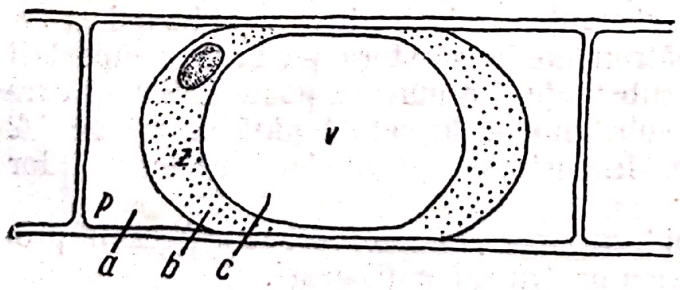


Fig. 24. Plasmoliză în calotă la celulele din epiderma inferioară de la frunza de ceapă:
a — trecerea substanțelor prin membrana celulară *(p)*; *b* — trecerea în protoplasmă *(z)*; *c* — intrarea în vacuole *(v)* (după Maksimov)

Pătrunderea substanțelor ionizante se poate observa foarte bine la microscop după efectul pe care îl au asupra hidratării materiei vii. Dacă introducem un fragment de epidermă de ceapă într-o picătură de soluție concentrată de KNO_3, se poate vedea la microscop vacuola puternic

micșorată înconjurată de plasma dilatată. Se obține așa-numita *plasmoliză în calotă* (fig. 24), în care plasma dilatată în forma unei calote acoperă vacuola contractată.

Un alt indiciu că substanțele ionizante pătrund în celule se poate obține experimentînd și în alt mod. Se țin celulele vegetale, în prealabil, cîteva ore într-o soluție de KNO_3 și de $Ca(NO_3)$, și după aceea se introduc într-o soluție concentrată de zaharoză capabilă să producă plasmoliza. La microscop se va putea constata că celulele care au stat în soluție de KNO_3 se plasmolizează foarte repede, și plasma ia forma sferică (plasmoliză convexă). Cele care au stat în soluție de $Ca(NO_3)_2$ se plasmolizează mult mai încet, și plasma ia forma neregulată, colțuroasă (plasmoliză concavă). Aceste deosebiri se explică prin acțiunea diferită pe care o au ionii de K^+ și de Ca^{++} asupra plasmei. Ionii de K^+ diluează plasma, și de aceea ea devine sferică sub acțiunea tensiunii superficiale. Ionii de Ca^{++}, dimpotrivă, deshidratînd plasma, îi măresc gradul ei de gelificare. Forma plasmei, în contractare, rămîne multă vreme colțuroasă din cauza desprinderii inegale de membrană.

Pătrunderea substanțelor ionizante poate fi dovedită și în alt mod. Se introduc în soluții de săruri celule cu antocian. Observate la microscop, înainte și după ședere, se constată o schimbare a culorii antocianului din roșu în violaceu sau albastru. Folosind celule care conțin în sucul lor vacuolar taninuri, putem constata, dacă se țin celulele în soluții de sare de fier, pătrunderea sării după precipitatul albastru sau verde care se formează înăuntrul vacuolei.

Față de diferiți ioni, membranele plastice, plasma în totalitatea ei, fac o deosebire: permit intrarea unora în cantitate mare, se opun intrării altora.

Celula vegetală posedă și capacitatea de a acumula ioni în concentrații mult mai ridicate decît cele din mediul exterior. Acest lucru a fost dovedit la celulele algei de apă dulce *Nitella* și algei marine *Valonia*. Alga *Nitella* acumulează ioni de K^+ în concentrație de 1 000 de ori mai mare decît concentrația ionilor de K^+ din soluția externă. Alga *Valo-*

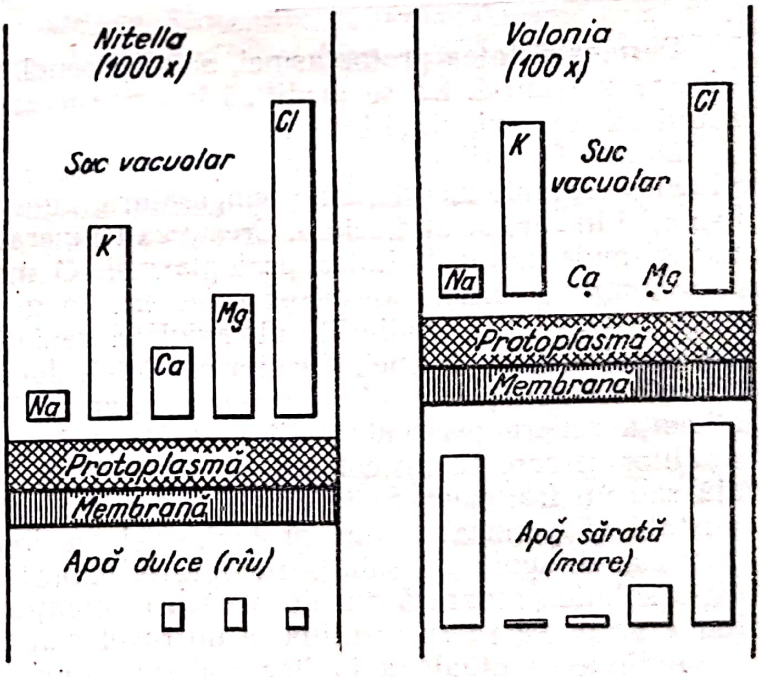


Fig. 25. Diagrama absorbției selective și acumulării ionilor minerali în sucul vacuolar al celulelor de *Nitella* (stînga) și de *Valonia* (dreapta) (după Hoagland)

nia, de asemenea, acumulează ioni de K^+, însă nu într-o cantitate așa de mare ca *Nitella.* Datele cu privire la capacitatea de acumulare a celulelor celor două alge sînt ilustrate în figura 25.

La baza acumulării active a ionilor unor săruri minerale stă metabolismul celulei. Procesul are loc numai dacă celulele sînt alimentate cu suficient oxigen. Lipsa oxigenului duce la oprirea respirației și determină pierderea capacității de acumulare.

Experiențele cu celulele celor două alge indica totodată că ele fac deosebire între diferiții ioni minerali. Ele lasă să pătrundă în interiorul lor cationii monovalenți (de K, Na etc.) mai repede și mai energic decît pe cei bivalenți (de Ca, Mg) sau polivalenți. Materia vie celulară (protoplasma) are deci caracter selectiv.

Relații similare se observă și în cazul anionilor. Ionii de Cl^-, Br^-, NO_3^- sînt absorbiți mult mai repede și mai energic decît cei de SO_4^{--}, PO_4^{---} etc.

Celulele vegetale posedă nu numai capacitatea de a face deosebirea între diferiții ioni cu valențe diferite, dar chiar sînt capabile să absoarbă diferit cationii și anionii cu valențe similare, în concentrații diferite. Experiențele lui L u n d e g ä r d h (1949), făcute cu fragmente de țesuturi de rădăcină de grîu, arată că ionii monovalenți de K se absorb mai slab decît cei de Na, iar aceștia mai slab decît cei de cesiu.

d. *Factorii care influențează permeabilitatea protoplasmei*

Permeabilitatea protoplasmei, a membranelor plasmatice nu este o proprietate constantă. Ea se modifică în orice moment sub influența diferiților factori atît externi, cît și interni.

Dintre factorii externi care influențează permeabilitatea protoplasmei celulelor vegetale menționăm : temperatura, lumina, *p*H-ul, compoziția ionică a soluției în care se află celula. Creșterea temperaturii și a intensității luminii măresc mult permeabilitatea protoplasmei. O mare influență în acest sens au schimbările bruște ale acestor factori. În general, factorii care denaturează protoplasma (radiațiile ultraviolete, radiațiile ionizante) măresc permeabilitatea protoplasmei. Reacția mediului, dacă devine puternic acidă sau puternic alcalină, determină creșterea permeabilității protoplasmei. O mare influență asupra permeabilității protoplasmei o are și compoziția ionică a soluțiilor în care se țin celulele vegetale. Dacă se introduce o celulă vegetală sau un fragment de țesut vegetal într-o soluție de o singură sare, se constată că permeabilitatea protoplasmei va crește sau se va micșora. În acest caz se spune că soluția nu este echilibrată. Dacă celula se introduce într-o soluție preparată din două săruri, situația se va schimba. Permeabilitatea va putea să se mențină la un nivel mai aproape de normal.

Acțiunea mutuală a ionilor a două săruri asupra permeabilității protoplasmei a primit denumirea de *antagonismul ionilor.* Cel mai bine poate fi studiat antagonismul ionilor de K, Na și Ca. Modul în care influențează cele trei feluri de ioni permeabilitatea protoplasmei celulelor vegetale poate

fi demonstrat cu fragmente de țesuturi, ale căror celule conțin antocian (epiderma de ceapă roșie, de frunze de varză roșie etc.).

Dacă se introduce fragmentul vegetal într-o picătură de apă distilată și se pune la microscop, se constată că pigmentul nu iese afară din celule; el iese însă foarte rapid dacă fragmentul de epidermă se introduce într-o soluție de KCl sau NaCl, din cauza creșterii permeabilității protoplasmei (a membranelor plasmatice). Dacă însă fragmentul se introduce într-o picătură de soluție care conține un amestec de $CaCl_2$ și KCl sau de $CaCl_2$ și NaCl, ieșirea pigmentului încetează ca urmare a descreșterii permeabilității protoplasmei. Ionii de Ca^{++} au anihilat acțiunea ionilor de K^+ sau de Na^+ asupra permeabilității protoplasmei.

Dintre factorii interni, starea fiziologică a celulelor și metabolismul, la care se adaugă și ionii minerali, *p*H-ul celular etc., influențează permeabilitatea protoplasmei. În stare de repaus, permeabilitatea protoplasmei este mult mai mică decît în stare activă. Permeabilitatea protoplasmei depinde de metabolismul celulei și are un caracter electiv.

Excitarea electrică a celulelor, țesuturilor vegetale determină, de asemenea, creșterea permeabilității. Ca urmare din celulele vegetale are loc ieșirea de ioni.

BIBLIOGRAFIE

1. Bogen, H. J., *Die Theorie der Permeabilität*, vezi H. Ruhland, *Handbuch der Pflanzenphysiologie*, Heidelberg, Springgerverlag Berlin-Göttingen, 1956, vol. II.
2. Bonner, J., Galston W. A., *Principles of Plant Physiology*, San Francisco, W. H. Freeman and Company, 1952.
3. Cotăescu, I., *Materia vie*, București, Ed. științifică.
4. Ducet, G., *Quelques aspects de la structure et de la biochimie de la cellule végétale*, Moscova, International Congrès of Biochimie, 1961.
5. Frey-Wissling, A., *Die submikroskopische Struktur des Protoplasmas*, în „Protoplasmatologie", Viena, 1955, vol. II, a. 2.
6. Haas, I., *Physiologie der Zelle*, Berlin, 1955.
7. Höfler, K., *Salzquellung des Protoplasmas und ionen-antagonismus*, în „Ber. d. dtsch. Bot. Gesellschaft", 1940, vol. LVIII, caiet 6.
8. Pop, E., *Mișcarea protoplasmei la Ruppia transilvanica*, în Bul. Grăd. bot. și al Muzeului botanic, Cluj, 1948.
9. Pop, E., *Noile descoperiri cu microscopul electronic în citologia vegetală*, în „Natura", București, vol. X. Nr. 2.
10. Ruhland, W., *Handbuch der Pflanzenphysiologie*, Heidelberg, Springerverlag Berlin-Göttingen, 1955, vol. I.; 1956, vol. III.
11. Sabinin, D. A., *Fiziologhiceskie osnovî pitania rastenii*, Moscova, 1955.
12. Strugger, S., *Schraubig kewundene Fäden als sublichtmikroskopische Strukturelemente des Cytoplasmas*, în „Ber. der deutschen Bot. Gesellschaft", 1957, vol. LXX.
13. Thomas, M., Plant Physiologie, Londra, ed. IV, 1956.
14. Walter, H., *Protoplasma und Membranquellung bei Plasmolyse*, în „Jahrb. f. Wiss. Bot.", 1923, 62.
15. Wildmann, S. G., și Cohen M., *The chemistry of plant cytoplasma*, în W. Ruhland — Encyclopedia of Plant Physiology, 1955, vol. I.

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul II

REGIMUL DE APĂ AL PLANTELOR

Noțiuni introductive

Dintre substanțele ce alcătuiesc corpul plantelor, apa este componentul ce predomină cantitativ asupra celorlalți, ajungînd în medie la 80—90% din greutatea plantei. Cantitatea de apă prezintă variații mari. Aceste variații sînt legate de specia plantei, de felul organului, de vîrsta, de stare de activitate ș.a.

Unele familii, ca de exemplu familia cucurbitaceelor, se caracterizează prin plante cu o mare cantitate de apă, altele, ca de exemplu gramineele, cuprind specii cu o cantitate de apă mai mică. Dintre organele plantei, unele se caracterizează printr-o cantitate mare de apă (tabelul 3). Astfel sînt frunzele de salată, fructele de tomate ș.a., care conțin în medie 94—95% apă. La alte organe, cum este tulpina plantelor lemnoase, cantitatea de apă este cu mult mai mică.

Tabelul 3

Cantitatea de apă la plante sau la unele organe

Planta sau organul	apa în % față de greutatea vie
1. Planta întreagă	80
2. Plasma celulelor	70—90
3. Frunze de salată, de varză	92—95
4. Frunze de grîu, orz, ovăz	pînă la 70
5. Lemnul din trunchi	circa 60
6. Fructe coapte de roșii, pepene	90—94
7. Mere	84,1
8. Ridichi	93,6
9. Morcov, ceapă	82—88
10. Cartofi	77—81
11. Boabe de porumb, orz	10—11
12. Semințe oleginoase	8—12

Scanned with OKEN Scanner

Starea de activitate influențează mult cantitatea de apă din plante. Organele ce se află în starea în care procesele fiziologice se desfășoară slab conțin apă relativ puțină. Astfel sînt cariopsele de grîu care, în cursul păstrării în depozite, conțin 10—12% apă. Excepția o formează unele organe cărnoase, bogate în apă și care totuși se găsesc în stare de repaus. Așa sînt rădăcinile tuberizate de sfeclă, morcov, ridichi etc. Aceste organe însă au rolul de a înmagazina substanțele nutritive de rezervă în stare solvită.

Cantitatea de apă variază și în legătură cu vîrsta organului. Frunzele tinere conțin 80—85% apă. Cele bătrîne conțin 60—65% apă. Scăderea cantității de apă se explică prin proprietatea de a reține apa cu forțe mai mici pe măsura îmbătrînirii organelor. Celulele organelor tinere se caracterizează prin coloide hidrofile, cu o mare putere de a reține apa. Pe măsura îmbătrînirii, coloidele devin mai puțin hidrofile, rețin apa mai slab, așa încît protoplasma apare din ce în ce mai puțin hidratată.

Dintre țesuturi, acelea cu activitate fiziologică mai intensă conțin apă mai multă, de exemplu țesutul meristematic în stare de creștere activă, diferitele parenchimuri ș.a. Țesuturile cu activitate mai slabă, avînd rol pasiv, mecanic, conțin apă în cantitate mai mică.

Cantitatea totală de apă din corpul unei plante reprezintă o valoare dinamică, și nu una statică. Ea poate să varieze între limite mai mari sau mai mici. La plantele situate mai jos pe scara evolutivă, cum sînt mușchii și lichenii, cantitatea de apă poate să scadă pînă la 5—7%. În cazul acesta, plantele trec într-o stare în care activitatea vitală devine foarte redusă. Starea aceasta a căpătat numele de anabioză. O dată cu creșterea procentului de apă, aceste plante trec în stare de viață activă. Protoplasma vie a acestor plante s-a adaptat la condițiile unei deshidratări puternice, fără ca totuși să piardă proprietățile caracteristice vieții. La plantele superioare, protoplasma nu posedă o astfel de însușire. În cazul unei deshidratări puternice, protoplasma acestora coagulează și moare.

Lipsa de variații mai mari în privința cantității de apă se constată numai la plantele submerse, care au corpul scufundat în întregime în apă. La plantele superioare, paralel cu trecerea la viața de pe uscat, s-a dezvoltat un anumit organ care să mențină legătura cu mediul din care ele să fie aprovizionate cu apă, adică rădăcina. Restul organelor se află în mediul aerian, unde se desfășoară nutriția lor cu bioxid de carbon.

Datorită modului de nutriție cu bioxid de carbon, frunzele plantelor s-au adaptat, fiind astfel asigurat un contact cît mai strîns și pe o suprafață cît mai mare cu atmosfera. În mod obișnuit, atmosfera conține o mică cantitate de apă. Ca urmare, ea determină pierderea apei de către părțile hidratate ale plantei. Prin urmare, contactul strîns cu atmosfera, necesar pentru nutriția plantei, constituie în același timp calea ce determină pierderea apei de către organele respective. Deoarece în marea majoritate a cazurilor, plantele procură apa destul de greu, rezultă că la nivelul celulelor din frunză au loc două procese contradictorii. Natura contradictorie a acestor procese a căpătat o explicare dialectică în lucrările lui K. A. Timireazev.

Scanned with OKEN Scanner

K. A. Timireazev împarte apa din corpul plantei în apă de constituţie şi apă de consum. Prin apă de constituţie el înţelege apa ce intră în compoziţia corpului plantelor, participînd la reacţiile de oxidare şi de reducere, la hidroliză şi la sinteză ş.a.

Apa de consum este apa ce trece prin corpul plantei sub forma unui curent introdus şi propulsat de către rădăcină, şi aspirat şi pierdut de către partea aeriană a plantei. Deoarece pierderea apei de către plantă constituie un proces util pentru viaţa ei, K. A. Timireazev are meritul de a fi subliniat şi explicat unitatea dintre ambele procese contrarii, dar care, prin natura lor, asigură desfăşurarea normală a nutriţiei plantelor.

Formele, starea şi rolul apei din plantă. În corpul plantei, apa se găseşte în două stări : gazoasă şi lichidă. În stare gazoasă, sub formă de vapori, apa se găseşte în meaturile şi în toate spaţiile aerifere ale ţesuturilor. Ea provine din evaporarea apei ce îmbibă pereţii celulelor din ţesuturi. În stare lichidă, apa se găseşte în celule intrînd în componenţa atît a părţilor vii, cît şi a celor lipsite de viaţă ca membrana şi vacuolele.

Deoarece apa hidratează toate celulele din corpul plantei, ea constituie un mediu intern ce face legătura între diferitele organe şi funcţii ale plantei. Datorită naturii bipolare a moleculelor, apa favorizează solvirea substanţelor, diferitele procese de hidratare, procese strîns legate de nutriţia plantei. Tensiunea superficială, destul de mare a apei favorizează circulaţia sa prin vase la distanţe mari, fenomene de adsorbţie ş.a.

În cadrul procesului de fotosinteză, apa constituie sursa de H^+ necesar reducerii bioxidului de carbon ; ea permite totodată trecerea radiaţiilor luminoase ce constituie sursa energetică pentru asimilarea bioxidului de carbon.

Apa ce intră în constituţia corpului plantei se găseşte sub două forme : liberă şi legată. Apa liberă este aceea care este reţinută foarte slab. Ea se găseşte la nivelul membranei scheletice, în vacuole, precum şi în citoplasmă, sub forma apei ce nu a intrat în peliculele sferelor de hidratare ale micelelor coloidale. În general, apa liberă formează un mediu intern al celulei în care se desfăşoară procesele activităţii vitale şi la care ea participă în mod efectiv.

Apa legată este reţinută cu forţe mari. Aceasta apă, fiind formată din molecule imobile, lipsite de posibilitatea difuziunii şi deci şi a proprietăţii de a se evapora, se pierde greu de către o celulă vie. Forţele ce o reţin provin de la coloizii hidrofili ai citoplasmei, care manifestă proprietatea hidratării.

Apa, trecînd în stare legată, pierde proprietăţile corpului solvent. Această apă îngheaţă la temperatură mai scăzută decît apa liberă. În baza acestei proprietăţi, apa legată imprimă coloizilor hidrofili o stabilitate structurală, împiedicînd aglomerarea, şi de aici şi coagularea particulelor lipo-proteice ale protoplasmei. Datorită pierderii proprietăţilor de solvent, apa legată nu ia parte la transformarea şi circulaţia substanţelor din corpul plantei.

În condiţiile nefavorabile ale mediului, cînd activitatea vitală a plantelor se reduce mult, cantitatea de apă liberă scade, iar aceea a apei legate creşte. Creşterea cantităţii apei legate determină o rezistenţă mai mare a plantelor.

Scanned with OKEN Scanner

În linii mari, apa din corpul plantei, considerată din punct de vedere dinamic, prezintă trei aspecte mai importante: absorbția, circulația și pierderea sa în mediul înconjurător. Variația acestora imprimă fiecărei plante o caracteristică specifică, denumită regimul de apă al plantei respective.

A. ABSORBȚIA APEI DE CĂTRE PLANTE

Procesul de absorbție a apei are loc atît la organismele inferioare, cît și la cele superioare. Apa absorbită tinde să înlocuiască apa pierdută prin transpirație. La organismele inferioare, absorbția apei se face prin toată suprafața corpului. La organismele vegetale evoluate, corpul prezintă un organ diferențiat în mod special pentru absorbția apei, și anume rădăcina. Frunzele au și ele proprietatea de a absorbi apa, însă într-un grad atît de mic, încît contribuția lor apare foarte slabă.

1. Absorbția apei la nivelul rădăcinii

Funcția de absorbție a apei, tinzînd să compenseze apa pierdută, presupune o suprafață de contact cît mai mare cu solul. Această suprafață de absorbție se realizează pe calea unor caracteristici anatomo-morfologice și fiziologice, dezvoltate în decursul evoluției plantelor.

Una dintre caracteristicile morfologice ale sistemului radicular este ramificarea sa cu mult mai mare decît a sistemului aerian. Astfel, la un pom de un an, prevăzut cu 5—7 ramuri, rădăcina prezintă 50 000 de ramificații. La cereale, suprafața totală a rădăcinilor este de 130 de ori mai mare decît suprafața părților aeriene, capabile de transpirație.

În afara ramificării, suprafața de contact cu solul se mărește și datorită perișorilor absorbanți. Aceștia reprezintă excrescențe ale celulelor tinere, din rizodermă, situate în apropierea vîrfului de creștere. La rădăcinile de porumb, perișorii absorbanți măresc suprafața de contact de 5,5 ori, iar la mazăre — de 12,4 ori.

La aceste caracteristici anatomo-morfologice se mai adaugă caracteristica fiziologică foarte importantă, și anume creșterea continuă în lungime a rădăcinii. Această creștere determină deplasarea rădăcinii în păturile mereu noi ale solului.

Funcția de absorbție a apei o are numai o parte a rădăcinii. Aceasta este reprezentată prin porțiunea situată mai departe de vîrful de creștere, acoperit cu scufie. La nivelul acestei porțiuni, celulele cresc în volum și formează perișori absorbanți. Viața perișorilor absorbanți în general este scurtă, de 2—3 zile. După moartea perișorilor absorbanți, celulele rizodermei se exfoliază, iar sub ele se formează un țesut protector suberificat.

Scanned with OKEN Scanner

Schimbul de substanțe între rădăcină și sol poate să aibă loc numai la nivelul zonei nesuberificate. În mod obișnuit se consideră că numai zona prevăzută cu perișori absorbanți este aceea la a cărei nivel are loc absorbția apei.

Există și plante la care rădăcina nu prezintă perișori absorbanți. Șt. Popescu (1926), luînd în studiu problema zonei de absorbție a rădăcinii, a ajuns la concluzia că și zona netedă poate participa la absorbția apei.

Actualmente, în baza metodelor noi și foarte precise, s-a arătat că zona perișorilor absorbanți reprezintă adevărata zonă de absorbție a rădăcinilor. Celelalte părți nesuberificate permit trecerea apei, însă într-o măsură mai mică.

Perișorul absorbant prezintă o membrană formată din celuloză, fiind acoperită la exterior de un strat de natură pectică. Gelificarea stratului de pectină face ca perișorul absorbant să adere strîns de particulele solului. În interior, perișorul absorbant conține o vacuolă, ca o continuare a vacuolei din celula rizodermică din care a provenit. Membrana subțire a perișorului permite modelarea sa, așa încît el poate să pătrundă în spațiile ce se formează între particulele solului.

2. Răspîndirea rădăcinilor în sol

Dimensiunea sistemului radicular, precum și distribuția sa în sol variază în legătură cu specia plantei. La unele specii cultivate, de exemplu la grîu, rădăcina pătrunde la o adîncime mai mare decît grosimea stratului arabil. La porumb, rădăcina crește mai mult după o direcție orizontală. La plantele lemnoase, sistemul radicular este dezvoltat mai intens decît la cele ierboase.

Dimensiunea și felul de răspîndire a rădăcinilor depind și de condițiile în care cresc plantele. În regiunile sudice, plantele au rădăcini ce pătrund mai adînc în sol decît în regiunile nordice. În regiunile nordice apare orizontul cu podzol, care este nefavorabil pentru dezvoltarea rădăcinilor.

Lumina exercită, de asemenea, influență asupra dezvoltării rădăcinilor. Plantele ce cresc la lumină au un sistem radicular mai bine dezvoltat decît acel al plantelor ce cresc la umbră. În schimb, la plantele umbrite sînt mai bine dezvoltate părțile aeriene. În cazul trecerii bruște în condiții de lumină intensă, aceste plante se ofilesc, deoarece rădăcina lor nu poate să facă față pierderii intense a apei.

Umiditatea solului influențează, de asemenea, gradul de dezvoltare și de distribuție a rădăcinilor. Plantele din culturile irigate prezintă un sistem radicular mai bine dezvoltat, explorînd solul la nivelul solului arabil, mai bogat în substanțe nutritive. În cazul culturilor neirigate, rădăcinile cresc mai adînc, în căutarea apei și părăsesc zona mai fertilă a stratului arabil.

La plantele pomicole din livezi, udatul pomilor pe suprafețe circulare, săpate în jurul trunchiului, determină răspîndirea rădăcinilor mai aproape de suprafață.

Scanned with OKEN Scanner

O mare influență asupra conformației rădăcinilor o are și densitatea plantelor pe unitatea de suprafață.

Dittmer (1937) a cultivat secara ca plantă izolată în condiții de mediu foarte favorabile. Determinarea dimensiunii rădăcinilor, făcută cu multă meticulozitate, a dus la concluzia că lungimea totală a rădăcinilor și a perișorilor absorbanți constituie zece mii kilometri. El a observat că în fiecare zi, rădăcina crește cu 5 km sub formă de ramificații și cu 80 km sub formă de perișori absorbanți. Desigur că fiind cultivată sub formă de asociații, rădăcina de secară ar fi dat valori cu mult mai mici. La grîu s-a constatat că atunci cînd crește sub formă de cultură obișnuită, adică în asociație, are o rădăcină de 100 de ori mai mică față de aceea a plantelor crescute în mod izolat.

Studiul dimensiunii și al felului de distribuție a rădăcinilor prezintă greutăți destul de mari. Așa se explică și faptul că în trecut, sistemul radicular era cu mult mai puțin cercetat decît părțile aeriene ale plantelor. In ultimul timp au fost elaborate numeroase metode ce permit cercetarea cu multă precizie a sistemului radicular.

O metodă mai accesibilă, prin faptul că este simplă și expeditivă, se bazează pe săparea unor tranșee. Acestea constau dintr-un șanț, al cărui perete vertical trece prin axul central al plantelor studiate (fig. 26). Pe hîrtie milimetrică se notează răspîndirea rădăcinilor atît în adîncime, în raport cu orizonturile solului, cît și după direcția orizontală. Această metodă nu permite însă înregistrarea precisă a modului de distribuție a rădăcinilor.

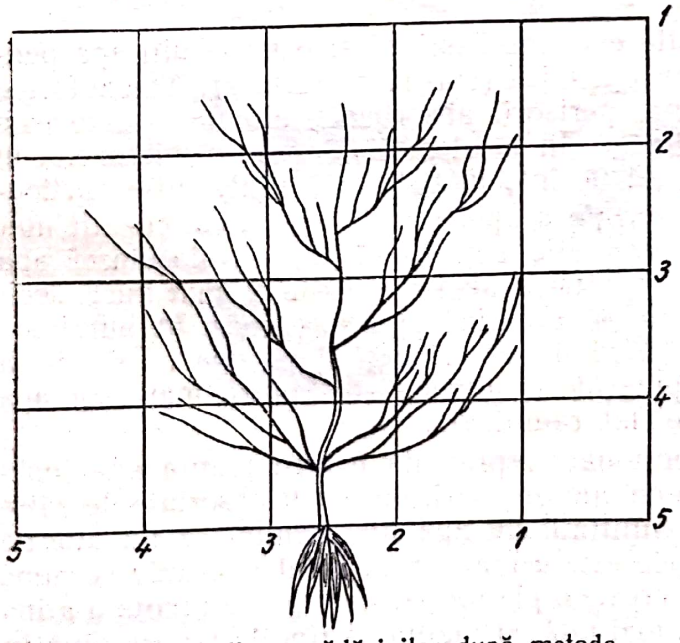


Fig. 26. Studierea rădăcinilor după metoda tranșeelor

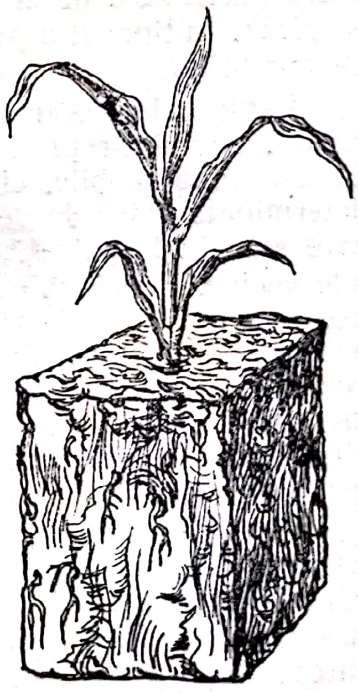


Fig. 27. Studierea rădăcinilor după metoda monolitelor

O metodă mai precisă este aceea a monolitelor. Fiind utilizată foarte larg, ea prezintă actualmente numeroase variante în legătură cu adaptarea sa la diferitele tipuri de plante.

În linii generale, metoda constă în delimitarea în jurul plantei respective a unei porțiuni de teren, de formă dreptunghiulară, ocupată de rădăcinile plantei respective (fig. 27). În jurul acestei porțiuni se sapă un șanț, așa încît porțiunea de teren capătă forma unei prisme, avînd înălțimea egală cu adîncimea la care se sapă șanțul.

Porțiunea de teren, denumită și monolit, este analizată prin luare de straturi de sol, de sus în jos, din 10 în 10 cm. Aceste straturi de sol se spală deasupra unor site, avînd ochiuri de mărimi diferite. Rădăcinile, reținute de site, se determină ca volum și greutate, iar rezultatele se raportează la adîncimea respectivă a solului.

3. Apa accesibilă și apa inaccesibilă pentru plante

Una din cauzele care au dus la formarea unor suprafețe mari de absorbție a rădăcinii o constituie și faptul că planta întîmpină anumite greutăți în procurarea apei. În sol, apa aflată la nivelul particulelor este reținută cu forțe diferite (fig. 28). Parte din apă umple capilarele mai mari ale solului și se află în stare destul de mobilă (apă de gravitație) sau în capilarele înguste ale solului, slab reținută (apa capilară). O bună parte din apă îmbracă particulele de sol și este puternic reținută (apa peliculară și higroscopică). În fine, altă parte din apă îmbibă substanțele coloidale din sol (apa de îmbibiție).

Pentru plante, apa accesibilă este cea capilară și o parte din apa peliculară, care sînt reținute cu o energie mică (sub 10 atmosfere). Aceste forme de apă fiind mobile, circulă spre perișorii absorbanți, circulație care este determinată chiar de perișorii însăși. În jurul perilor apare o microzonă în care apa fiind epuizată, trebuie să fie înlocuită de apa aflată între particulele vecine. Cu cît viteza de absorbție a apei va fi mai activă, cu atît mai mare va trebui să fie viteza de circulație a apei ce tinde să înlocuiască apa epuizată. Cum însă viteza de circulație a apei din sol este mai mică decît cea din corpul plantei, rădăcinile se ramifică puternic, cresc în lungime; ele, după expresia lui N. A. Maksimov, „aleargă după apă". Este de la sine înțeles că rădăcinile mai puternic ramificate vor epuiza mai ușor apa accesibilă din jurul lor decît cele slab ramificate.

Celelalte forme de ape menționate reprezintă pentru plantă apa inaccesibilă, deoarece, fiind reținute cu energii mari, nu pot fi absorbite de către rădăcini. Pentru determinarea cantității de apă inaccesibilă există diferite metode. Una dintre aceste metode este următoarea: solul respectiv se pune într-un vas metalic, și în vas se crește o plantă oarecare. Cînd planta a atins o oarecare creștere, solul nu se mai udă, și planta se ține la umbră pînă în momentul cînd începe să se ofilească. Ofilirea ne indică că aprovizionarea

Scanned with OKEN Scanner

cu apă din sol a încetat. Cantitatea de apă care a rămas în sol în momentul ofilirii, care se poate determina uscînd o probă de sol la 105 °C, reprezintă apa inaccesibilă pentru plantă.

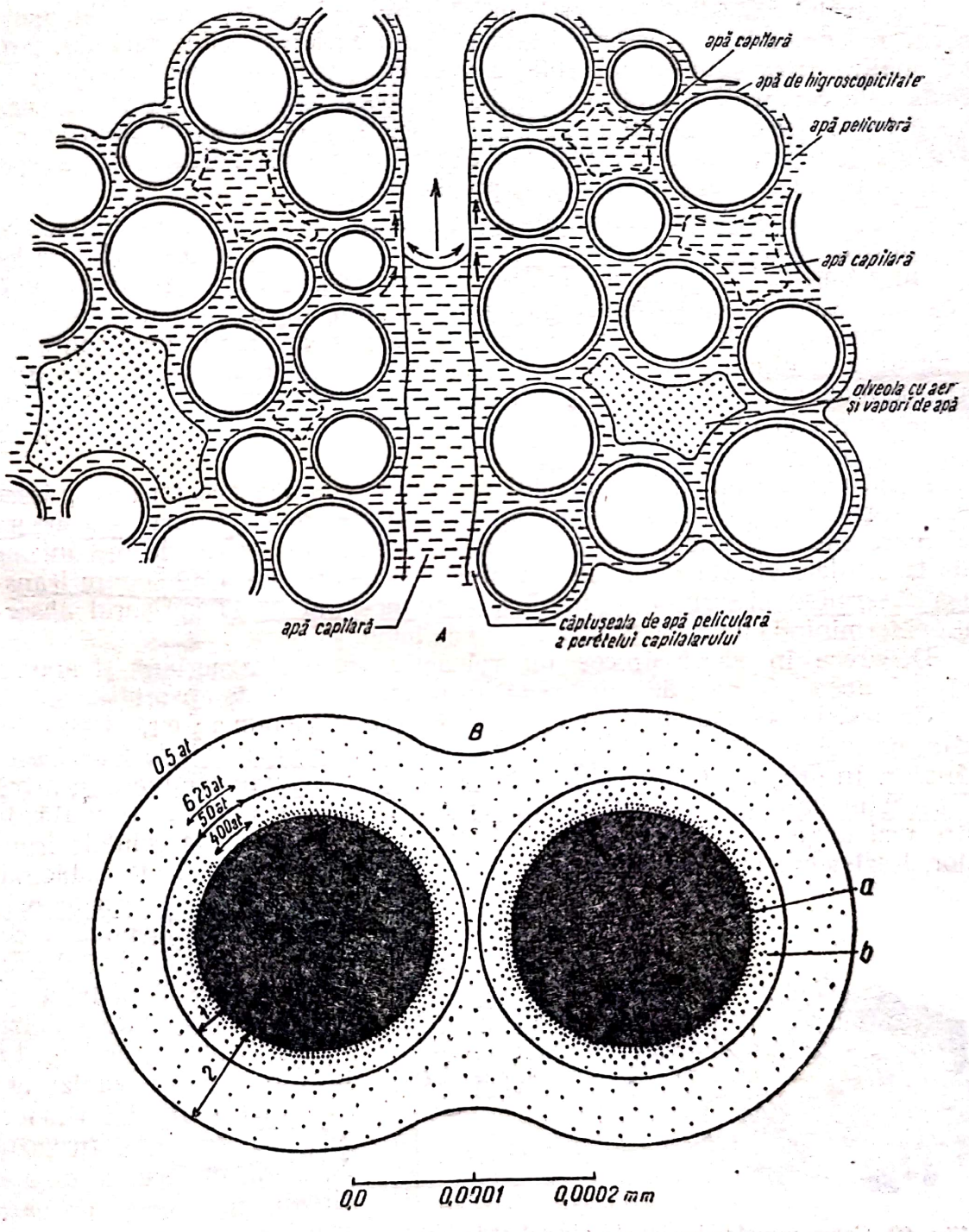


Fig. 28. Apa capilară într-un sol poros (*A*). Reprezentarea schematică a apei de adsorbție (*B*): *a* — particule coloidale de sol; *b* — cationi adsorbiți (punctele negre); *1* — apă de higroscopicitate; *2* — apă peliculară (după C. D. Chiriță)

4. Mecanismul de absorbție a apei de către rădăcină

La nivelul rădăcinii, apa trebuie să parcurgă scoarța care, din punct de vedere anatomic, este reprezentată printr-o serie de celule vii (fig. 29). Din analiza procesului de absorbție a apei de către celulă s-a constatat că acesta este destul de complicat. Pe de altă parte, acest proces se bazează pe fenomene fizice ca îmbibiția și osmoza. Pe de altă parte, la acest proces participă și o forță care determină o absorbție polară, adică intrarea apei printr-un pol al celulei și ieșirea prin polul opus.

Perișorul absorbant, ca ori care altă celulă vie, venind în contact cu apa din sol, o absoarbe datorită forțelor osmotice. Această absorbție are loc pînă în momentul cînd celula devine turgescentă, adică saturată cu apă. Forța de sugere a celulei devenind egală cu zero, intrarea apei se oprește. Cum la nivelul celulelor absorbante, absorbția apei are loc în mod continuu, se menține continuu o stare de nesaturație a celulelor, deci existența unei forțe permanente de sugere. Aceasta datorită faptului că procesul de absorbție a apei la nivelul rădăcinii este strîns legat de procesul pierderii de apă, adică de procesul transpirației.

Datorită transpirației la nivelul frunzelor, celulele acestora se găsesc mereu într-o stare de nesaturație, adică prezintă mereu o forță de sugere mai mare sau mai mică, care se transmite printr-un sistem de mecanisme pînă la celulele vii ale rădăcinii. La nivelul acestora, forța de sugere transmisă determină absorbția continuă a apei începînd de la perișorul absorbant și terminînd cu vasele conducătoare de lemn.

Deoarece în acest proces un rol activ are partea aeriană și anume frunzele, absorbția apei de către rădăcini poartă numele de absorbție pasivă.

Cercetările făcute în această direcție (Lachenmayer, 1932) au arătat că mersul curbelor de înregistrare a ambelor procese este foarte asemănător. În prima jumătate a zilei se constată o oarecare rămînere în urmă a absorbției față de procesul de transpirație. Aceasta este determinată de către rezistența ce apare în drumul de trecere a apei pînă la celulele frunzelor. Rezistența provine din partea protoplasmei celulelor vii ale rădăcinii. Apa din sol trece ușor prin membrana scheletică a celulelor, însă la nivelul protoplasmei ea întîmpină rezistență din partea coloizilor materiei vii celulare. La nivelul acestor coloizi are loc trecerea apei datorită forțelor de imbibiție. În cazul acestora, moleculele de apă circulă mai greu pe baza forțelor de difuziune între moleculele ce hidratează coloidele protoplasmei.

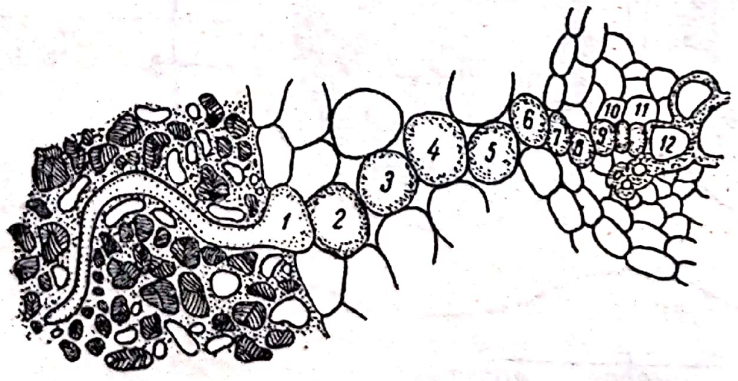


Fig. 29. Calea urmată de apă la nivelul rădăcinii:
1 — păr radicular; *2—6* — celulele parenchimului scoarței; *7* — endoderm; *8* — periciclu; *9—11* — parenchimul cilindrului central; *12* — vas lemnos

Confirmarea acestei situații o constituie experiențele făcute în mod comparativ cu plante la care rădăcina a fost omorîtă. Aceste experiențe au arătat că în cazul plantelor cu rădăcina vie, apa aspirată cu o pompă la capătul superior al tulpinei a pătruns cu mult mai greu decît în cazul plantelor cu rădăcina omorîtă. La acestea din urmă, coloizii plasmei fiind dezorganizați, nu au mai opus rezistență.

În afara absorbției pasive, la rădăcină s-a mai constatat și o absorbție activă, adică aceea la care rădăcina participă în mod activ. Acest fel de absorbție poate fi pus ușor în evidență cu ajutorul unui dispozitiv numit potometru (fig. 30).

În mod obișnuit, acest dispozitiv este folosit pentru determinarea cantității de apă absorbită de către rădăcina unei plante. Potometrul este alcătuit dintr-un vas de sticlă în formă de U, la care unul din brațe este prevăzut cu un tub subțire, îndoit în unghi drept. În brațul al doilea se introduce rădăcina unei plante prin intermediul unui dop de cauciuc. În momentul experimentării, în vas se introduce apa în așa fel, încît tubul orizontal subțire să fie umplut cu apă. După un timp oarecare se remarcă scăderea nivelului de apă din tubul subțire. Tubul fiind gradat, permite înregistrarea cantității de apă absorbită în decursul intervalului de timp respectiv.

Prin cîntărirea dispozitivului împreună cu planta, la începutul și la sfîrșitul experimentării, se poate preciza dacă apa absorbită corespunde cu cea transpirată sau din contra, apa absorbită a rămas în corpul plantei.

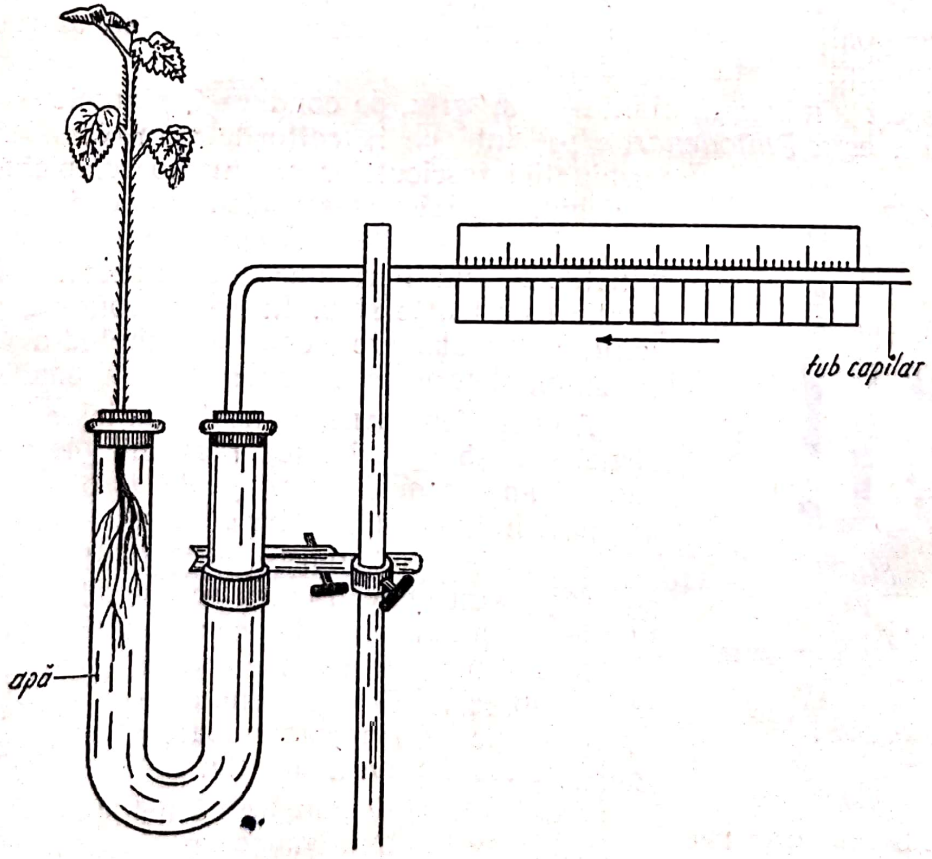


Fig. 30. Potometrul lui Vesque

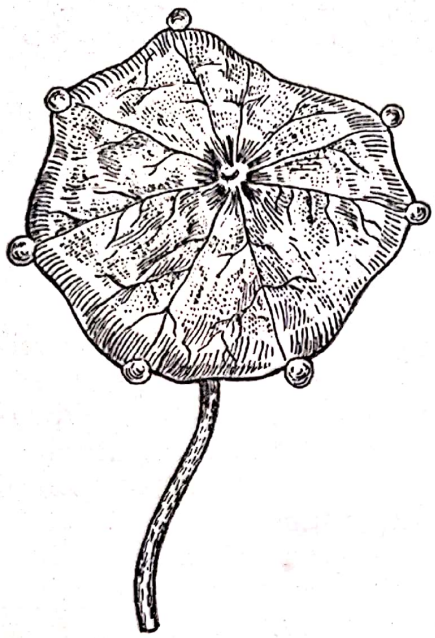


Fig. 31. Gutația la o frunză de conduraș (*Tropaeolum*)

Dacă la o plantă montată la un potometru i se retează partea aeriană pînă aproape de colet, se constată că rădăcina rămasă, deși lipsită de frunze, continuă să absoarbă apa. Acest lucru rezultă în mod evident atît din observarea tubului orizontal al potometrului, cît și din faptul că suprafața tulpinii secționate prezintă picături de lichid ce musteș din dreptul fasciculelor conducătoare. Rezultă deci că rădăcina poate să absoarbă apa și fără participarea aparatului aerian, adică a frunzelor. Acest fel de absorbție a fost denumită absorbție activă a rădăcinii. În natură se întîlnesc deseori plante la care se manifestă absorbția activă a apei fără participarea frunzelor. Astfel, primăvara devreme, cînd vița de vie este lipsită de frunze, de pe suprafața secționată a corzilor se scurge un lichid. Fenomenul acesta a fost denumit „plînsul" sau „lăcrimarea" viței de vie.

Absorbția apei de către rădăcină, fără participarea procesului de transpirație, se poate constata la plante întregi, prevăzute cu frunze, datorită fenomenului numit gutație (fig. 31).

Deseori dimineața, plantulele de grîu, de conduraș, plantele de apartament cum este *Philodendron* prezintă pe la colțurile frunzelor, în dreptul terminației fasciculelor conducătoare, picături mici de lichid. O dată formate, ele cresc, cad, iar în locul lor se formează altele. Acest fenomen apare în diminețile cu atmosferă umedă, cînd procesul de transpirație este foarte slab. În aceste condiții, rădăcina continuă să absoarbă apa, și pompînd-o în vasele de lemn, determină scurgerea ei la capătul opus.

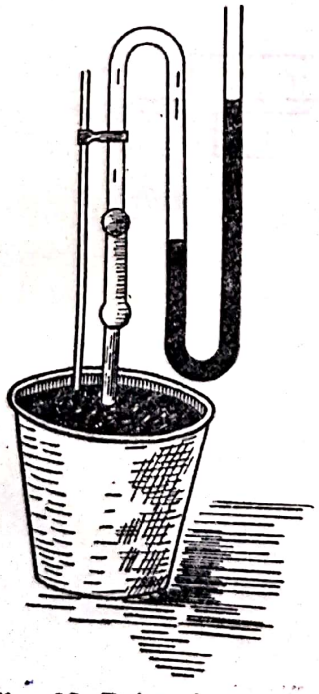


Fig. 32. Determinarea presiunii radiculare cu un manometru cu mercur

Ambele fenomene, plînsul plantelor și gutația, demonstrează proprietatea rădăcinii plantelor de a absorbi apa în mod activ și de a o elimina sub presiune în lumenul vaselor de lemn.

Presiunea radiculară a unei plante poate fi măsurată în atmosfere. Pentru aceasta, la coletul unei plante secționate se adaptează un tub de cauciuc, pus în legătură cu un manometru. Lichidul acumulat în tub exercită o presiune care se citește pe manometru. Această presiune poate să ajungă la o valoare de 2—3 atmosfere (fig. 32).

Pentru a se demonstra că lichidul ce se scurge datorită presiunii radiculare nu constituie un simplu proces de scurgere a apei prin organele ră-

nite, s-a procedat la determinarea cantității de apă ce se scurge datorită presiunii radiculare. S-a constatat că volumul lichidului scurs întrece de 2—3 ori volumul total al rădăcinii respective.

Deoarece gutația și plînsul plantelor încetează o dată cu creșterea concentrației soluției din sol, s-ar părea că natura acestor fenomene este legată de principiile de osmoză. În favoarea acestei idei mai pledează și faptul că sucul plîns primăvara are o concentrație mai mare decît vara.

Totuși, atît plînsul plantelor, cît și gutația depind de starea de activitate vitală a rădăcinii. Dacă se anesteziază cu cloroform rădăcina plantelor, aceste fenomene dispar. De asemenea, într-un sol lipsit de accesul oxigenului, gutația și plînsul plantelor încetează. Toate acestea arată legătura ce există între respirație, activitatea vitală a rădăcinilor și absorbția activă a apei.

Mecanismul absorbției active încă nu a fost lămurit pe deplin. Explicațiile ce se dau presiunii radiculare se pot împărți în două grupe (P. J. Kramer, 1956).

Prima grupă conține explicațiile bazate pe presupunerea că rădăcinile se comportă ca niște osmometre, iar absorbția constă în circulația apei conform gradientului osmotic, adică de la o soluție mai diluată a solului spre cea mai concentrată (cea din vasele de lemn).

A doua grupă de explicații se bazează pe admiterea că celulele vii, care înconjoară xilemul fasciculelor, au proprietatea să secrete apa în spre aceste vase printr-un proces deosebit de acel al osmozei simple.

Teoriile osmotice prezintă azi numeroase variații. Primele explicații, emise încă de către Dutrochet, admiteau că apa poate să circule numai conform cu gradientul presiunii osmotice, și nu conform cu deficitul presiunii de difuziune, adică conform cu gradientul forței de sugere a celulelor. S-a admis că atîta timp cît celulele din scoarța rădăcinii sînt saturate cu apă, aceasta poate să circule liber pînă la xilem ca și cum ar trece prin membrane perfect permeabile. La nivelul vaselor de lemn se găsește soluția de săruri care determină absorbția de săruri în conformitate cu presiunea proprie. Deoarece vasele de lemn au membrane permeabile, unele din aceste explicații au admis izolarea conținutului din vasele de lemn prin intermediul endodermului ce are pereții impermeabili.

Legătura ce se observă între procesul de respirație și absorbție activă se explică prin influența indirectă. Se știe că sărurile pătrund în celulele rădăcinii prin intermediul energiei procesului de respirație. Deci respirația favorizînd pătrunderea substanțelor, și ca urmare creșterea presiunii osmotice din vase, influențează în mod indirect și absorbția apei de către rădăcină.

Fiziologul D. A. Sabinin (1952) a propus o explicație osmotică, în care însă rolul principal aparține metabolismului celulelor, și nu diferenței de permeabilitate a acestora. După D. A. Sabinin, celulele vii ale rădăcinii, începînd cu perișorul absorbant și terminînd cu ultima celulă din vecinătatea vasului de lemn, prezintă doi poli : unul extern cu care celulele absorb apa, și altul intern cu care ele filtrează apa în spre celula imediat vecină (fig. 33). Cauza deosebirii între cele două capete ale celulelor o constituie transformarea substanțelor, adică metabolismul lor diferit. Capătul

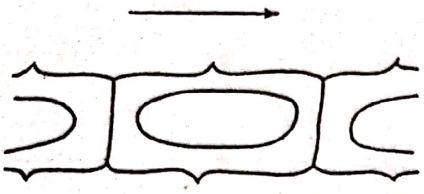


Fig. 33. Circulația polară a apei la nivelul rădăcinii prin forțe osmotice ale celulei într-un singur sens (după D. A. Sabinin)

orientat către exterior se caracterizează printr-o protoplasmă în care, în urma proceselor metabolice, se formează numeroase substanțe osmotic active. Natura acestor substanțe este glucidică, iar transformările sînt legate mai ales de procesul de respirație. Capătul opus al celulei, din contra, este caracterizat prin lipsa unor astfel de substanțe. Deosebirile în privința procesului de respirație sînt legate de deosebirea în aprovizionarea cu oxigen care pătrunde în mod polar la nivelul rădăcinii. Ca un rezultat al deosebirilor polare în privința respirației, a metabolismului și a prezenței sau absenței substanțelor osmotic active, are loc absorbția osmotică a apei de către capătul extern și punerea ei în libertate și filtrare la capătul opus, intern al celulei. Fenomenul acesta al deosebirilor polare, deci și al absorbției apei, se repetă din celulă în celulă pînă la nivelul vasului de lemn. Deoarece natura modificărilor acestui metabolism încă nu a fost studiată, iar substanțele osmotic active de la nivelul protoplasmei nu au fost puse în evidență, expicația aceasta rămîne deocamdată sub formă de ipoteză.

Explicațiile bazate pe absorbția neosmotică a apei presupun trecerea apei contrar gradientului forței de sugere. În cazul acesta, trecerea apei se datorește participării active în sensul de secreție a celulelor rădăcinii, în baza unui proces deosebit de acel al osmozei simple. Pătrunderea activă a apei în xilem este explicată prin utilizarea energiei metabolice de către celulele ce pompează apa. Pentru susținerea acestor explicații se citează datele experimentale care arată existența unei strînse legături între procesul de respirație și absorbția activă a apei. Tot în sprijinul acestor explicații se citează periodicitatea zilnică a presiunii radicelare, legată de influența luminii. Maximul presiunii radiculare a fost constatat ziua, în condițiile de lumină, iar minimum noaptea, în condiții de întuneric. De asemenea, auxina, care favorizează absorbția apei de către o celulă vie, determină creșterea presiunii radiculare la plantele de floarea-soarelui și de mazăre, după tratarea lor cu soluție de această substanță.

Deocamdată, ambele grupe de explicații își au adepții lor. Totuși, este posibilă îmbinarea ambelor grupe de explicații într-o teorie comună. Baza spre crearea unei teorii unice o constituie faptul că atît explicațiile osmotice, cît și cele neosmotice se bazează pe participarea protoplasmei vii, cu structura în stare de funcționare normală. Cercetările ulterioare e posibil că vor preciza dacă celulele rădăcinii cheltuiesc energia metabolică în legătură directă cu trecerea apei din xilem sau dacă energia metabolică este utilizată în mod indirect pentru menținerea concentrației mai mari în xilem, prin aceasta favorizînd circulația osmotică a apei.

Presiunea radiculară a fost cercetată de către numeroși fiziologi tocmai pentru importanța biologică pe care o prezintă. Pe de o parte ea contribuie la absorbția apei, iar pe de altă parte la propulsarea ei în vasele de lemn. În condițiile cînd forța de aspirație a frunzelor lipsește, de exemplu la arbori

Scanned with OKEN Scanner

primăvara devreme sau chiar în timpul iernii, presiunea radiculară constituie unica forță ce contribuie la aprovizionarea cu apă a sistemului aerian.

Rolul biologic al gutației este foarte mare. Cu ajutorul gutației, planta poate să mențină o cantitate de apă normală pentru corpul său. Ea este procesul prin care planta menține un echilibru între apa absorbită și cea pierdută prin transpirație. Așa se explică de ce plantele care cresc în regiunile mlăștinoase sau chiar cu rădăcinile de apă gutează în mod continuu. Se presupune că plantele, în trecutul lor istoric, trecînd la viața de pe uscat, au păstrat procesul de gutație ca un caracter ancestral, căpătat de la strămoșii săi acvatici. La aceștia din urmă, gutația a constituit unicul mod de a-și menține presiunea normală a apei în interiorul corpului, deoarece procesul de transpirație era inexistent.

O dată cu trecerea la viața de pe uscat, reglarea între absorbție și pierderea apei a început să fie făcută de către procesul de transpirație, iar gutația a rămas să participe numai în anumite condiții, și numai la unele plante. Astfel, la conifere, caracterizate printr-o transpirație slabă, gutația lipsește.

5. Influența factorilor externi asupra absorbției apei de către rădăcină

Unul dintre factorii externi, a cărui influență se situează pe primul plan, este temperatura. Absorbția apei are loc la o temperatură cuprinsă între anumite limite. Scăderea temperaturii sub o anumită limită determină micșorarea sau oprirea absorbției.

Acțiunea temperaturii scăzute asupra absorbției se poate demonstra printr-o experiență foarte simplă (fig. 34). O plantă de tutun, crescută într-un ghiveci, se introduce la temperatura camerei, avînd ghiveciul înconjurat cu bucăți de gheață în stare de topire. Deși pămîntul din ghiveci are apă suficientă, se remarcă că planta se ofilește. Aceasta se datorește faptului că planta, avînd părțile aeriene la temperatura normală, transpiră intens. Rădăcina însă, aflîndu-se într-un sol cu temperatura scăzută, absoarbe apa slab sau chiar de loc.

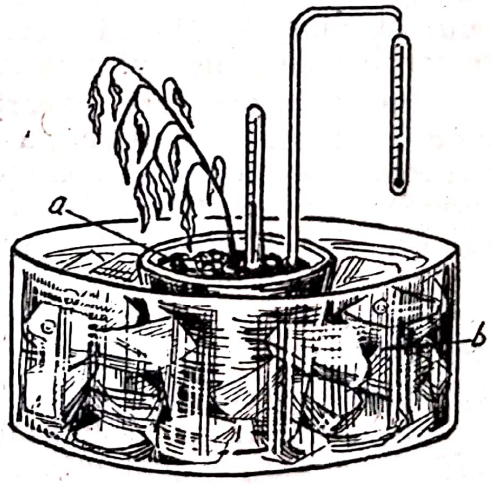


Fig. 34. Ofilirea plantei datorită răcirii solului:
a — ghiveciul cu planta; *b* — vasul cu gheață

Temperatura scăzută influențează nu atît prin micșorarea difuziunii moleculelor de apă, cît mai ales prin modificarea stării structurale a protoplasmei. La o temperatură scăzută, protoplasma devine vîscoasă, deci mai puțin permeabilă pentru apă. Această acțiune a temperaturii se poate observa la celulele plasmolizate. La o temperatură de 0°, celulele

plasmolizate, puse în apă, se deplasmolizează după un interval de timp de 7 ori mai lung decît în cazul deplasmolizei la 20°.

Influența temperaturii asupra procesului de absorbție se studiază cu ajutorul potometrului. Acesta permite urmărirea precisă a legăturii dintre absorbție și variația temperaturii mediului în care se găsesc rădăcinile.

S-a constatat că absorbția apei, în legătură cu temperatura, variază la diferitele specii de plante. Plantele de origine sudică (pepene, bumbac) își micșorează absorbția la o temperatură numai cu puțin mai mică de 20°. În schimb cerealele de toamnă și cele de primăvară pot absorbi apa la o temperatură destul de scăzută a solului.

Scăderea bruscă a temperaturii are o influență cu mult mai puternică decît o scădere treptată. Acest fapt demonstrează posibilitatea protoplasmei de a se modifica în mod treptat, deci de a se adapta la o temperatură mai scăzută.

În legătură cu influența nefavorabilă a temperaturii scăzute asupra absorbției, se recomandă ca udarea plantelor să se facă cu apa încălzită la soare, și nu cu apa luată direct de la robinet sau din fîntînă.

La plantele lemnoase, acțiunea nefavorabilă a temperaturilor scăzute asupra absorbției se observă în cazul primăverii, cînd temperatura aerului se încălzește în mod brusc, solul rămînînd încă destul de rece, determinînd o absorbție cu mult mai slabă în comparație cu procesul de transpirație. Ca urmare, se creează o discordanță în regimul hidric care, dacă durează un timp mai îndelungat, poate dăuna plantelor.

A. F. Schimper (1898), studiind plantele din regiunile mlăștinoase alpine, a ajuns la concluzia că aceste plante au caracterele plantelor rezistente la secetă. El consideră că datorită temperaturii scăzute a solului față de cea a aerului, plantele sînt puse în situația de a pierde mai multă apă decît au absorbit. Acest fel de soluri, după Schimper, sînt soluri cu secetă fiziologică. Fiziologul Dadîkin (1948) a constatat că în astfel de soluri, plantele suferă o perturbare nu numai a regimului de apă, ci și a nutriției minerale. Mai ales metabolismul azotului, legat de transformările compușilor de la nivelul rădăcinii, decurge în condiții destul de grele.

Un alt factor foarte important este oxigenul. Un sol complet inundat de apă este nefavorabil pentru rădăcinile plantelor datorită lipsei oxigenului. Acesta se găsește în apă într-o cantitate cu mult mai mică decît în aer. Solurile cele mai favorabile pentru plante sînt acelea ce conțin 60% apă din capacitatea lor maximă. Acest fel de soluri prezintă spații capilare umplute parțial cu aer.

În cazul apelor curgătoare, condițiile de aerisire sînt mai bune. Plantele cultivate în medii lichide cresc foarte bine, cu condiția ca aceste medii să fie aerisite prin pomparea repetată a aerului.

În condițiile unor soluri mlăștinoase, cum este cazul plantelor de baltă, rădăcinile s-au adaptat prin faptul că găsesc oxigenul necesar în țesuturile ce străbat organele plantei. Majoritatea plantelor cultivate nu pot suporta lipsa oxigenului în sol. Dintre aceste plante, numai orezul se împacă cu o cantitate mai mică de oxigen.

Scanned with OKEN Scanner

Lipsa de oxigen exercită asupra rădăcinilor o acțiune nefavorabilă și în mod indirect. Procesele de descompunere sînt urmate de formarea în sol a unor substanțe cu acțiune toxică asupra rădăcinilor. În acest fel de soluri, rădăcinile suferă, plantele ierboase stagnează în creștere, se îngălbenesc, iar la cele lemnoase se observă uscarea vîrfului coroanei.

Influența oxigenului asupra absorbției apei subliniază faptul că rădăcina participă la acest proces prin intermediul activității vitale a celulelor sale, și nu numai în mod pasiv, în felul unui filtru.

Deoarece la absorbția apei din sol participă fenomene de osmoză, se cere ca soluția din sol să aibă o concentrație cu mult mai mică decît acea a sucului celular. De fapt, această situație este realizată la nivelul majorității solurilor.

Există însă soluri ce conțin o cantitate de săruri mai mare decît cea normală. Acest fel de soluri se numesc salinizate. Concentrația în săruri solubile, ajungînd la 100 de atmosfere, majoritatea plantelor, atît din flora spontană, cît și dintre plantele cultivate, nu pot să absoarbă apă din astfel de soluri. Numai un mic număr de plante spontane sînt adaptate la acest fel de condiții, constituind flora halofită. Adaptarea acestor plante se bazează pe proprietatea ce o au de a ridica concentrația sucului vacuolar la zeci de atmosfere. Proprietatea de a-și mări concentrația sucului vacuolar o au și plantele cultivate, însă într-o măsură foarte mică. În cazul cînd se introduc în sol îngrășăminte solubile, plantele își ridică valoarea presiunii osmotice, dar într-un grad mic și pentru un interval de timp scurt. Apoi rădăcina lor recapătă presiunea osmotică inițială.

6. Absorbția apei de către organele aeriene

În mod obișnuit, organele aeriene sînt acoperite cu țesuturi protectoare ca epiderma, suberul sau ritidomul. Celulele epidermice de pe organele aeriene sînt prevăzute cu pereții externi acoperiți cu cuticulă care le face să fie impermeabile pentru apă. S-a constatat însă că contactul prelungit al cuticulei cu apă face ca aceasta să devină permeabilă. Așa se explică proprietatea ce o au frunzele plantelor de a folosi apa ploilor sau cea de la rouă.

Frunzele tinere, avînd caticula subțire, absorb apa mai ușor. Frunzele mai bătrîne, avînd cuticula mai groasă, absorb apa mai greu. În cazul epidermei acoperite cu ceară sau cu peri deși, lînoși, absorbția apei devine imposibilă.

N. Zamfirescu (1931) a studiat procesul de absorbție a apei prin organele aeriene. El a constatat că deși cantitatea de apă absorbită prin frunze este mică, totuși ea contribuie mult la creșterea plantelor, mai ales în cazul unei aprovizionări insuficiente prin rădăcină. Autorul a arătat că porțiunile de epidermă din apropierea fasciculelor conducătoare sînt mai ușor permeabile atît pentru apă, cît și pentru unele substanțe minerale. Prin aceste lucrări, N. Zamfirescu a adus contribuții însemnate și în domeniul studierii nutriției extraradiculare.

Scanned with OKEN Scanner

B. TRANSPIRAȚIA PLANTELOR

1. Rolul transpirației în viața plantelor

Organele aeriene ale plantelor sînt apărate împotriva pierderii apei de către țesuturile protectoare (epiderma și suberul). Totuși, procesele fiziologice — nutriția cu carbon, respirația — impun menținerea unei strînse legături cu mediul înconjurător prin contactul direct al celulelor cu aerul atmosferic. Această legătură cu mediul aerian a determinat o serie de adaptări, exprimate mai ales la nivelul frunzelor. Astfel, epiderma acestor organe prezintă celule modificate ca stomate, care permit difuziunea gazelor. Aceasta se face în ambele sensuri, constînd în pătrunderea CO_2 și a O_2, ieșirea vaporilor de apă. Aceasta din urmă constituie procesul prin care părțile aeriene ale plantelor pierd apa. Prin urmare, frunza este organul la al cărui nivel se întîlnesc două procese legate de suprafața de contact a celulelor vii cu mediul înconjurător. Pentru primul proces, acel al fotosintezei, creșterea suprafeței de contact — favorizarea schimbului de gaze — are acțiune favorabilă pentru viața plantei ; în cazul celui de-al doilea proces, al transpirației, creșterea suprafeței, deci mărirea contactului cu atmosfera la un moment dat, poate dăuna plantei. Într-adevăr, în multe cazuri plantele procură apa greu, deoarece ea se găsește în cantitate insuficientă în mediu. Privită din acest punct de vedere, transpirația apare ca un proces fiziologic cu acțiune negativă pentru plantă.

Totuși, avîndu-se în vedere rolul biologic foarte important al transpirației, ea a fost considerată încă de către K. A. Timireazev ca „un rău necesar". Latura negativă a transpirației este legată de faptul că în linii generale, toate plantele duc o luptă destul de grea cu mediul înconjurător pentru procurarea apei. Dar procesul acesta este absolut necesar în primul rînd datorită faptului că în cursul transpirației, ca și în cazul evaporării, o dată cu pierderea apei are loc scăderea temperaturii corpului de pe care se pierde apa.

Observațiile făcute arată că în condițiile naturale, temperatura frunzelor de la soare nu întrece decît cu 2°—4,5° temperatura aerului înconjurător. În lipsa transpirației, frunzele ar trebui să se încălzească, deoarece absorb radiațiile solare. Se constată totuși că chiar în zona cu climă tropicală, frunzele expuse direct la soare prezintă temperatura numai cu 6,7° mai ridicată decît cea a frunzelor de la umbră. Prin urmare, rolul cel mai important al transpirației este cel de a feri planta de supraîncălzire. Acest lucru este foarte important, deoarece coloidele protoplasmei vii rămîn în stare de funcționare normală numai pînă la o anumită limită a temperaturii ridicate. Trecînd dincolo de această limită, încep perturbările care duc la coagularea și moartea protoplasmei. Acest rol al transpirației explică cauza pentru care plantele pierd apa în cantități așa de mari. Calculele făcute au arătat că a 20-a pînă la a 40-a parte din energia solară utilizată pentru evaporarea apei de pe suprafața globului este utilizată pentru transpirația plantelor.

Scanned with OKEN Scanner

Un alt rol foarte important al transpirației este acela de a contribui la circulația apei care conține substanțele nutritive, absorbite la nivelul rădăcinii.

În sfîrșit, transpirația mai contribuie la menținerea stării optime de turgescență a organelor plantei.

2. Punerea în evidență și metodele de determinare a transpirației

Punerea în evidență a transpirației se bazează pe formarea picăturilor de apă pe pereții unui recipient de sticlă în care au fost introduse frunzele unei plante. Adeseori, printr-o simplă aplicare a plăcii de sticlă pe una din fețele frunzei se obține aburirea acesteia de către vaporii de apă pierduți în cursul transpirației. Se mai poate utiliza hîrtia îmbibată cu clorură de cobalt, care, prin schimbarea culorii, indică prezența vaporilor de apă ce se emană de pe frunze.

Pentru determinarea intensității transpirației se folosesc metode foarte diferite, care se pot clasa în trei grupe mari, după principiul pe care se bazează :

— determinarea apei absorbite, admițîndu-se că aceasta reprezintă exact apa pierdută prin transpirație ;

— determinarea apei pierdute sub formă de vapori ;

— determinarea greutății plantei, schimbată în urma pierderii apei.

Pentru determinarea apei absorbite se utilizează potometrele descrise anterior, cu ocazia procesului de absorbție a apei de către rădăcină.

Pentru determinarea transpirației după cantitatea de vapori pierduți se folosesc dispozitive foarte variate. Acestea sînt vase închise în care se introduc plantele, precum și cantități anumite de substanțe higroscopice. Deoarece menținerea plantei sau numai a frunzelor în vase închise determină modificarea condițiilor atmosferice, și deci și a transpirației, s-a introdus utilizarea recipientelor cu plante introduse, dar prin care aerul trece sub forma unui curent. Determinarea cantității de vapori din aerul ce intră în recipientul cu planta, precum și din aerul ce iese din recipient după ce a venit în contact cu planta face posibilă determinarea intensității transpirației. De aici și numele de metoda aerului aspirat (fig. 35).

Determinarea greutății modificate în urma pierderii apei se poate face fie la plante întregi, fie la porțiuni ca lăstari sau frunze.

În cazul plantelor întregi se folosesc vase de vegetație, în care se cresc plantele. Solul din vase este acoperit pentru a se împiedica pierderea apei prin evaporare. Metoda permite determinarea transpirației la intervale mai mari, deoarece balanțele folosite pentru cîntărirea vaselor nu sînt sensibile la cantitățile mici de apă ce se pierd la intervale de timp scurte.

Pentru a se determina transpirația la plantele crescute liber în sol, metoda a suferit unele modificări și a căpătat numele de „metoda cîntăririlor rapide". Principiul îl constituie faptul că în decursul primelor 3 minute, frunzele sau lăstarii detașați manifestă o transpirație normală. După

Scanned with OKEN Scanner

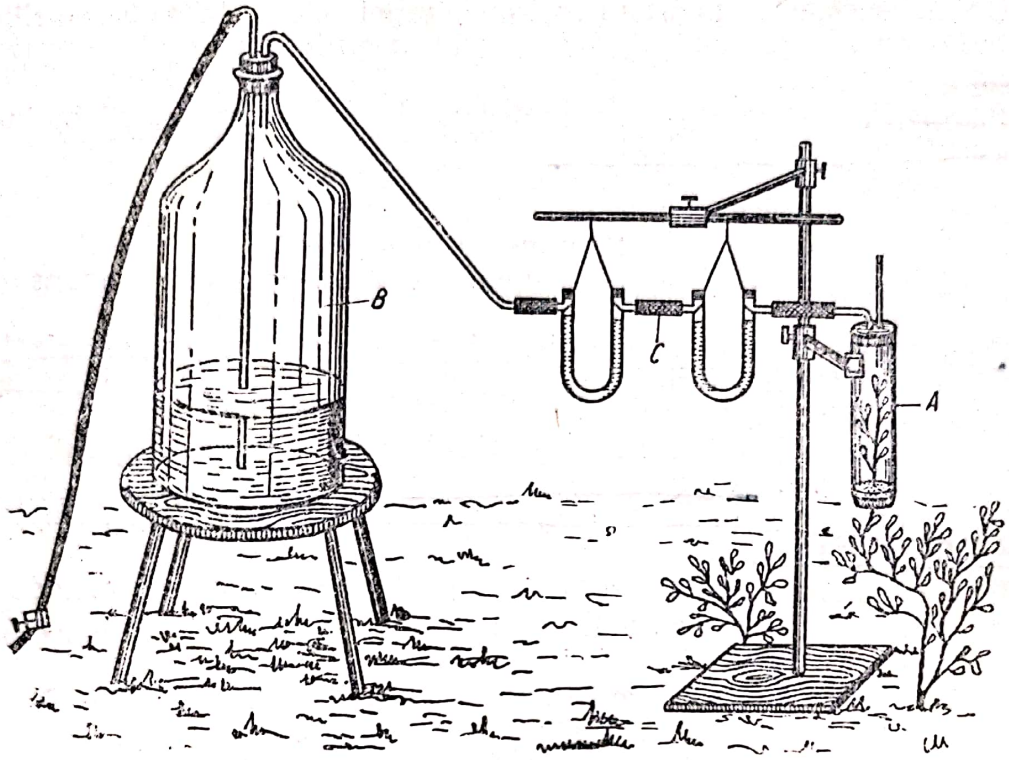


Fig. 35. Determinarea intensității transpirației după metoda curentului de aer:
A — vas de transpirație; *B* — rezervor cu apă; *C* — tuburi în formă de U cu substanță higroscopică

trecerea acestui interval de timp, transpirația se modifică datorită perturbării circulației apei în urma detașării de pe plantă.

In baza metodelor utilizate s-au putut determina valorile transpirației, exprimate prin anumiți indici.

Dintre aceștia, cel mai des se utilizează determinarea *intensității de transpirație*. Prin aceasta se înțelege cantitatea de apă pierdută, raportată la unitatea de timp, de obicei ora și unitatea din suprafața frunzei, luată ca cm^2 sau m^2.

S-a constatat că intensitatea de transpirație variază în legătură cu specia plantei, cu condițiile mediului exterior etc. În linii generale, ea variază ziua între 15—250 g la m^2/oră, iar noaptea 1—20 g la m^2/oră.

Prin raportarea cantității de apă pierdută în unitatea de timp la cantitatea totală a apei cuprinsă în corpul plantei, se obține *ritmul de consum sau de pierdere* a apei de către planta respectivă. Determinările arată că plantele slab rezistente la secetă în decursul unei ore pierd mai mult de o jumătate din cantitatea totală a apei, altele mai rezistente din contra, o pierd cu mult mai încet. Plantele lemnoase — de exemplu pinul, stejarul, în vîrstă de 5 ani — pierd cam 3/4 din totalul apei în decursul a 24 de ore, în schimb molidul și fagul pierd de 2 ori mai mult, adică la fag, de exemplu, totalul apei se reînnoiește de 6—10 ori în decursul a 24 de ore.

Coeficientul de transpirație se obține prin raportarea cantității de apă transpirată la cantitatea de substanță uscată asimilată în decursul unui

anumit interval de timp. Valoarea coeficientului de transpirație depinde de foarte mulți factori, fapt care determină schimbarea valorii sale chiar la una și aceeași specie de plantă. În linii generale, valoarea sa este cuprinsă între 125—1 000 cm^3 de apă, cheltuite pentru asimilarea unui gram de substanță uscată.

Prin *productivitatea transpirației* se înțelege o valoare inversă, adică cantitatea de substanță exprimată în grame și care a fost sintetizată în urma cheltuirii unui litru de apă sub formă de transpirație. În condiții normale, la plantele cultivate, productivitatea este exprimată prin 1—8 grame.

Transpirația relativă este raportul între apa pierdută sub forma de transpirație și cea pierdută de pe suprafața liberă sub formă de evaporare. În linii generale ea variază între 0,1—0,5. Uneori, valoarea sa poate atinge și 1.

3. Factorii interni ai transpirației

a) *Frunza ca organ al transpirației.* Deoarece transpirația constă în pierderea apei sub formă de vapori, de la prima vedere s-ar părea că ea poate fi identificată cu procesul fizic al evaporării. Examinată însă la nivelul organului specific al transpirației și anume frunza, se constată că acest proces depinde de o serie de factori specifici plantei, adică a unui organism viu.

Pierderea apei de către o frunză se caracterizează în primul rînd prin faptul că acest organ modifică transpirația prin intermediul structurii sale. Cele două epiderme, superioară și inferioară, fiind acoperite cu o cuticulă, nu permit schimbul de gaze, mai ales atunci cînd aceasta este în stare uscată. Numai în dreptul celulelor stomatice, celule cu structură specială, există orificiul ostiolei care permite comunicarea țesuturilor cu mediul exterior. Datorită unei astfel de structuri anatomice, vaporii de apă se formează în meaturi și spațiile aerifere, și apoi difuzează la exterior prin ostiole. Așezarea și conformația stomatelor, gradul de deschidere a ostiolelor, evaporarea apei de pe membranele celulelor din meaturi, precum și cantitatea apei din celule vii intervin într-o măsură foarte importantă în modificarea procesului de transpirație. La aceasta mai trebuie adăugat gradul de aprovizionare a plantei cu apă care, la rîndul său, depinde de dezvoltarea rețelei de nervuri din frunză, de dezvoltarea sistemului radicular, de cantitatea de apă absorbită ș.a. Rezultă că transpirația este un proces extrem de complex, care depinde de o serie de particularități legate de caracteristicile unui organism viu, deci este un proces fiziologic care trebuie diferențiat de procesul fizic al evaporării.

Potrivit structurii anatomice a organelor aeriene, există transpirația cuticulară prin suber și prin stomate.

b) *Transpirația prin cuticulă și prin suber.* Cuticula formează un strat protector la nivelul epidermei atît al frunzelor, cît și al altor părți ca fructe, semințe etc. În starea uscată, cuticula este perfect impermeabilă. Gradul de permeabilitate a cuticulei variază și în legătură cu grosimea sa. La organele tinere (frunze, fructe) cuticula este slab dezvoltată, adică subțire. În această stare ea este destul de permeabilă pentru apă. Transpirația

cuticulară la frunzele tinere poate să atingă o valoare de 30—50% din transpirația totală. La frunzele bătrîne însă, transpirația cuticulară ajunge numai la 3—5% din transpirația totală a plantei.

Plantele de umbră au cuticula mai subțire, așa încît manifestă o transpirație cuticulară mai intensă.

Transpirația cuticulară poate fi studiată mai ușor la frunzele ce au stomate situate numai pe o singură față. În cazul acesta epiderma, prevăzută cu stomate, se acoperă cu o pëliculă de substanță hidrofobă, și apoi se determină pierderea apei de către fața lipsită de stomate din frunza respectivă. Această pierdere se va datora numai transpirației cuticulare.

Fructele tinere, cum sînt merele, prezintă transpirația cuticulară. Mai tîrziu, cuticula se îngroașă prin formarea unui strat de ceară ce o acoperă și o face aproape complet impermeabilă.

Gradul de permeabilitate a cuticulei depinde și de starea de îmbibiție cu apă a componentei sale hidrofile. Contactul prelungit cu apă al cuticulei mărește mult permeabilitatea sa. Așa se explică recomandarea în practică ca plantele să nu fie udate prin stropire atunci cînd sînt expuse la razele directe ale soarelui. În cazul cînd udarea se face fără stropirea frunzelor, ea nu poate dăuna chiar dacă se face la orele de la amiază.

Rolul protector al cuticulei împotriva pierderii apei poate fi ușor demonstrat printr-o experiență simplă. Se determină în mod comparativ, prin cîntărire, pierderea apei de către un lot de mere avînd cuticulă și un al doilea lot, identic, dar la care cuticula a fost îndepărtată. Se constată că merele lipsite de cuticulă pierd apa și se usucă într-un interval de timp foarte scurt.

Organele aeriene, acoperite cu suber sau cu ritidomă, sînt protejate mai bine împotriva apei. Suberul slab dezvoltat, subțire protejează mai puțin. Așa se explică pierderea mai mare a apei la nivelul cicatricelor rămase în urma căderii frunzelor sau la nivelul vîrfului ramurilor de un an, atunci cînd acestea au avut o creștere prelungită pînă în toamnă tîrziu. În cursul iernii, aceste vîrfuri se usucă, nefiind pregătite în vederea rezistenței la condițiile grele, printre care și la aceea de a-și menține cantitatea de apă necesară hidratării țesuturilor.

Dintre factorii interni care influențează intensitatea transpirației menționăm: structura organului de transpirație, prezența clorofilei, concentrația sucului vacuolar, parfumurile etc.

Frunzele adînc sectate transpiră mai intens decît cele întregi, pentru că suprafața lor e mult mărită. Cu cît concentrația sucului vacuolar este mai mare, cu atît și transpirația este mai slabă. Organele care conțin mai multă clorofilă transpiră mai intens.

c) *Transpirația prin stomate.* Stomatele sînt reprezentate prin celule epidermice modificate. Conformația lor anatomică, precum și variația poziției lor în cadrul frunzei prezintă obiectul de studiu atît al anatomiei, cît și al ecologiei plantelor.

În general, majoritatea plantelor au stomatele situate mai mult sau chiar în mod exclusiv pe fața inferioară a frunzei. Plantele submerse, sînt lipsite de stomate. La plantele cu frunze plutitoare, stomatele se găsesc nu-

mai pe fața superioară. La graminee, stomatele se găsesc pe ambele fețe, iar la unele specii predomină pe fața superioară (meri, peri, caișI etc.).

Numărul stomatelor variază în legătură cu specia plantei. La majoritatea plantelor, pe 1 mm² se află 100—300 de stomate. La unele specii, de exemplu la floarea-soarelui, numărul lor atinge 700 pe 1 mm².

Ostiolele sînt orificii foarte mici, avînd diametrul de 50 μ și o suprafață de 0,005 mm². La nivelul ostiolelor deschise are loc difuziunea vaporilor de apă în mediul înconjurător. Acești vapori rezultă în urma evaporării apei de pe suprafața celulelor mezofilului frunzei. Membrana acestor celule pierde apa, care se găsește reținută de microcapilarele ce o străbat. Privită în ansamblul său, transpirația stomatică decurge în trei etape. În prima etapă are loc evaporarea apei capilare de pe suprafața membranei celulelor ce delimitează meaturile. În etapa a doua are loc difuziunea vaporilor formați prin ostiolele deschise. În etapa a treia, vaporii difuzați prin ostiole sînt împrăștiați în mediul exterior (fig. 36).

Prima etapă a transpirației constă într-o simplă evaporare a apei de pe suprafața membranelor celulare. Aceste membrane sînt străbătute de microcapilare care, la capătul exterior îndreptat în spre meaturi, prezintă meniscuri concave, de pe care se desprind moleculele de apă. Capătul intern este îndreptat spre protoplasmă, a cărei apă de hidratare se continuă cu apa din microcapilarele membranei. În felul acesta, cedarea apei de către membrană este legată de felul în care apa pierdută este recuperată pe socoteala celei din protoplasmă. Aceasta din urmă, la rîndul său, își reface apa cedată pe socoteala apei din vacuolă. Pe măsura cedării apei, sucul vacuolar se concentrează, determinînd apariția și creșterea forței de sugere a celulei.

Dacă la nivelul vaselor de lemn apa circulă în cantitate suficientă, adică dacă planta găsește în sol apa necesară, celulele absorb apa, iar forța de sugere scade. Ca urmare, protoplasma apare hidratată în mod normal, iar cedarea apei de către membrană are loc în mod continuu.

Din contra, dacă planta nu reușește să absoarbă cantitatea suficientă de apă, forța de sugere a vacuolei determină reținerea apei la nivelul celulei. Apa din microcapilarele membranei este cedată din ce în ce mai greu. Apare starea în care celula însuși se apără împotriva pierderii apei, stare care se numește uscare incipientă. Această stare demonstrează proprietatea celulei vii, deci și a organismului viu, de a interveni în mod activ în cadrul primei etape a transpirației. Deci această etapă nu mai apare ca un simplu fenomen de evaporare.

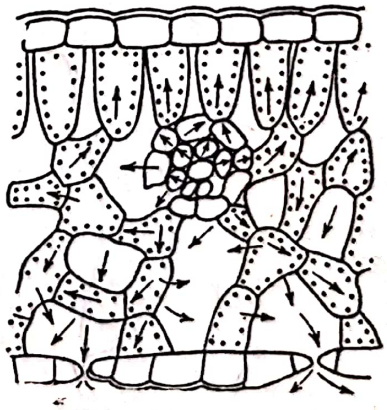


Fig. 36. Calea urmată de apa pierdută prin transpirație de către o frunză (după N. A. Maksimov). Drumul apei este indicat de săgeți

Deoarece această etapă constă în evaporarea apei de pe membranele din meaturi, s-a cercetat raportul dintre suprafața membranelor celulare interne și suprafața frunzei. La plantele xerofite cu transpirația intensă s-a găsit că suprafața internă a membranelor este de 20—30 de ori mai

mare ca aceea a frunzei, la mezofite — de 12—18 ori, iar la plantele de umbră — de 8—10 ori.

Etapa a doua a transpirației stomatice o constituie difuziunea vaporilor de apă din meaturi în mediul exterior prin intermediul ostiolelor deschise. Gradul de deschidere a ostiolelor depinde de mișcările celulelor stomatice.

4. Mișcarea de deschidere și de închidere a stomatelor

Celulele stomatice, deși aparțin celulelor epidermice, prezintă o serie de deosebiri față de acestea din urmă. Membrana celulelor stomatice prezintă îngroșări nu numai la nivelul peretelui extern, dar și al celui ventral. Din contra, peretele intern împreună cu cel dorsal, sînt subțiri. Forma celulelor prezintă anumite particularități. La dicotiledonate celulele stomatice au forma unor cotiledoane de fasole, așezate față în față. La familia graminee, capetele celulelor, avînd membrana subțire, în stare de turgescență, privite deasupra prezintă forma unor haltere (fig. 37). Prezența cloroplastelor indică proprietatea celulelor de a desfășura fotosinteza. În centrul celulei se găsește o vacuolă mare.

Un timp, mișcarea de deschidere era atribuită în mod exclusiv celulelor stomatice. Se considera că în stare de turgescență, datorită îngroșării neuniforme a pereților, celulele se curbează în așa fel, încît pereții ventrali se distanțează, iar între ei apare orificiul numit ostiola.

Cercetătorul M. Stälfelt (1927) are meritul de a fi lămurit pentru prima dată faptul că mișcările celulelor stomatice depind atît de starea de hidratare a celulelor stomatice, cît și de acea a celulelor din țesuturile frunzei. În baza celor constatate, el împarte mișcările celulelor stomatice în mișcări active și în mișcări pasive.

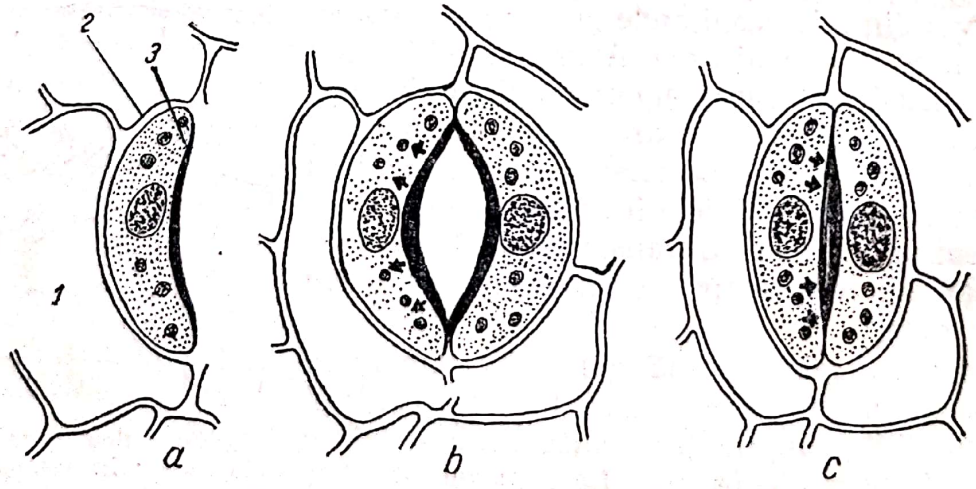


Fig. 37. Mișcările celulelor stomatice:
a — celulă normală; *1* — celulă anexă; *2* — peretele dorsal subțire; *3* — peretele ventral gros; *b* — osteolă deschisă; *c* — osteolă închisă.

Prin mișcări active se înțeleg acelea care se datoresc înseși celulelor stomatice, iar prin cele pasive, acelea care se referă la mișcările celulelor din țesuturile învecinate și care acționează asupra celulelor stomatice.

În cadrul mișcărilor active, Stälfelt deosebește doi factori principali, lumina și apa care condiționează starea celulelor, determinînd o deschidere fotoactivă și o închidere hidroactivă.

La majoritatea plantelor, noaptea stomatele sînt închise. Dimineața, o dată cu răsăritul soarelui, la nivelul celulelor stomatice au loc o serie de reacții fotochimice. În baza acestor reacții, celulele stomatice învinge rezistența celulelor epidermice învecinate, se curbează, iar pereții ventrali se distanțează între ei. S-a constatat că creșterea în mărime a ostiolei are loc paralel cu creșterea intensității luminii. Mișcarea de deschidere a fost denumită după factorul care o determină, adică fotoactivă.

Către orele de la amiază, cînd o bună parte din vaporii de apă au difuzat, apare scăderea hidratării atît a celulelor stomatice, cît și a celor din vecinătatea lor. Scăderea hidratării duce la micșorarea turgescenței celulelor stomatice care se apropie între ele, iar ostiola se închide. Deoarece factorul principal de închidere este apa, mișcarea a căpătat numele de închidere hidroactivă.

M. Stälfelt a constatat că stomatele frunzelor saturate în apă apar închise chiar în prezența luminii și a cantității sufiiciente de apă. Această stare de închidere se datorește turgescenței mari a tuturor celulelor epidermice. Celulele stomatice, deci turgescente și ele, sînt împinse una către alta, așa încît ostiola se închide în mod cu totul pasiv, de unde și numele mișcării — hidropasivă.

Frunzele cu stomatele închise în mod pasiv, fiind ținute la întuneric, dar în condiții ce favorizează pierderea apei, la un moment dat își deschid ostiolele. Această deschidere se datorește pierderii turgescenței de către celulele epidermice învecinate. În urma micșorării volumului, celulele nu mai apasă asupra celulelor stomatice, care fiind turgescente, se deschid și în lipsa luminii. Această mișcare a căpătat numele de hidropasivă.

Mișcările active ale celulelor stomatice încă nu au căpătat o explicație unică. În general, toate explicațiile tind spre constatarea cauzei care determină afluxul apei în celulele stomatice, cînd are loc deschiderea ostiolei sau, din contra, pierderea apei, cînd are loc închiderea ostiolei.

Cercetările mai recente tind să facă legătura între procesul de fotosinteză de la nivelul celulelor stomatice și activitatea enzimelor ce acționează asupra substanțelor glucidice. Una dintre aceste enzime cu un rol foarte important este fosforilaza. Avînd proprietatea reversibilității, ea poate acționa asupra amidonului fie în sens hidrolitic, fie în sens sintetic. În urma hidrolizei amidonului rezultă substanțele osmotic active, care contribuie la crearea stării de turgescență a celulelor stomatice. În cazul activității sintetice, amidonul se reface, iar celula pierde starea de turgescență.

Modificarea sensului activității fosforilazei este determinată de către schimbarea *p*H-ului celulelor stomatice. La un *p*H acid, sensul este acel de sinteză, iar la un *p*H neutru este acel de hidroliză. În condiții de întuneric, cînd fotosinteza nu are loc, *p*H-ul celulelor scade din cauza CO_2 care provine în urma respirației. O dată cu răsăritul soarelui, procesul de fotosinteză

Scanned with OKEN Scanner

determină consumul de CO_2, *p*H-ul celulelor crește, iar activitatea fosforilazei se schimbă în sens hidrolitic. Aceste modificări ale *p*H-ului se răsfrîng sub forma unui complex de modificări ale hidratării protoplasmei, ale viscozității, permeabilității pentru apă ș.a.

Dintre complexul de factori ce determină mișcarea celulelor stomatice, rolul preponderent al unuia variază în legătură cu specia plantei. Acest fapt este legat de procesul de evoluție al speciei respective, cînd a avut loc adaptarea la condițiile de mediu corespunzător. La plantele caracteristice regiunilor secetoase din pustiuri, ostiolele se mențin deschise în tot cursul zilei. Acest fapt prezintă o mare importanță pentru întregul organism. Prin ostiolele deschise pătrunde CO_2 necesar fotosintezei. Dacă ostiolele ar fi rămas închise în cursul orelor cu lumină intensă și cu o atmosferă uscată, plantele ar fi fost sortite pieirii, deoarece acest fel de condiții se mențin în tot cursul zilei. La plantele mezofile, ostiolele rămîn închise în cursul orelor de la amiază, iar aprovizionarea cu bioxid de carbon este suficientă chiar atunci cînd se face numai în orele de dimineață și după-amiază.

În cursul etapei a treia a transpirației are loc îndepărtarea vaporilor de apă ieșiți din ostiole. De la prima vedere s-ar părea că este vorba de condițiile asemănătoare unui proces de evaporare simplă. În cazul acesta i s-ar putea aplica formula lui Dalton, propusă pentru evaporarea apei de pe o suprafață liberă :

$$V = KS\frac{(F-f)\,760}{P},$$

în care :

V este cantitatea de apă evaporată în unitatea de timp ;
S — suprafața de pe care se face evaporarea ;
F — tensiunea de vapori ce saturează atmosfera la $t°$ suprafeței de evaporare ;
f — tensiunea de vapori la $t°$ dată ;
P — presiunea atmosferică ;
K — coeficientul de difuziune al vaporilor de apă.

După cum rezultă din formulă, evaporarea este cu atît mai mare, cu cît diferența între $F—f$ este mai mare. Această diferență poartă numele de deficit de saturație. De asemenea, cantitatea de apă evaporată crește pe măsură ce crește suprafața de evaporare. În cazul frunzei, transpirația va depinde de difuziunea vaporilor prin ostiolă și de tensiunea de vapori din atmosferă.

Suprafața totală a ostiolelor reprezintă 1—3% din suprafața totală a frunzei. Deci procesul de transpirație ar trebui să reprezinte și el cam 1—3% din acela al evaporării apei de pe o suprafață liberă.

Calculele făcute încă la începutul secolului al XX-lea (Brown și Escombe, 1900) au arătat că formula lui Dalton se potrivește, chiar în cazul evaporării, numai pentru suprafețele de evaporare nelimitate și în condițiile unei atmosfere liniștite.

Stephan, studiind intensitatea evaporării apei de pe suprafețe mici, circulare, a constatat că aceasta se deosebește de cea a suprafețelor libere, mari. În cazul suprafețelor mici, difuziunea moleculelor de la margine capătă o viteză cu mult mai mare. În centrul suprafeței, difuziunea molecule-

lor se face cu mult mai încet decît la margine. Aceasta se datorește numărului mare de molecule care, difuzînd în spațiul atmosferic, se ciocnesc între ele, adică se împiedică în mod reciproc. Difuziunea moleculelor de la margine are loc în mod mai activ, deoarece spațiul este liber, așa încît nu se mai ciocnesc între ele. Deoarece marginea suprafeței favorizează difuziunea moleculelor, s-a tras concluzia că în cazul suprafețelor circulare, mici, viteza de evaporare este cu atît mai mare, cu cît este mai mare raportul dintre lungimea circumferinței și mărimea suprafeței de evaporare. Cu alte cuvinte, evaporarea de pe suprafețe mici depinde mai mult de configurația suprafeței de evaporare decît de mărimea însăși a suprafeței.

În baza cercetărilor făcute, S t e p h a n dă următoarea formulă pentru cazul evaporării de pe suprafețe mici :

$$V = K \cdot \frac{(F-f)\,760}{P} 4r,$$ în care r = raza.

Favorizarea difuziunii vaporilor de apă de către marginea suprafeței de evaporare are loc numai cu condiția ca suprafețele să aibă o anumită distanță între ele. Calculele arată că această distanță trebuie să fie mai

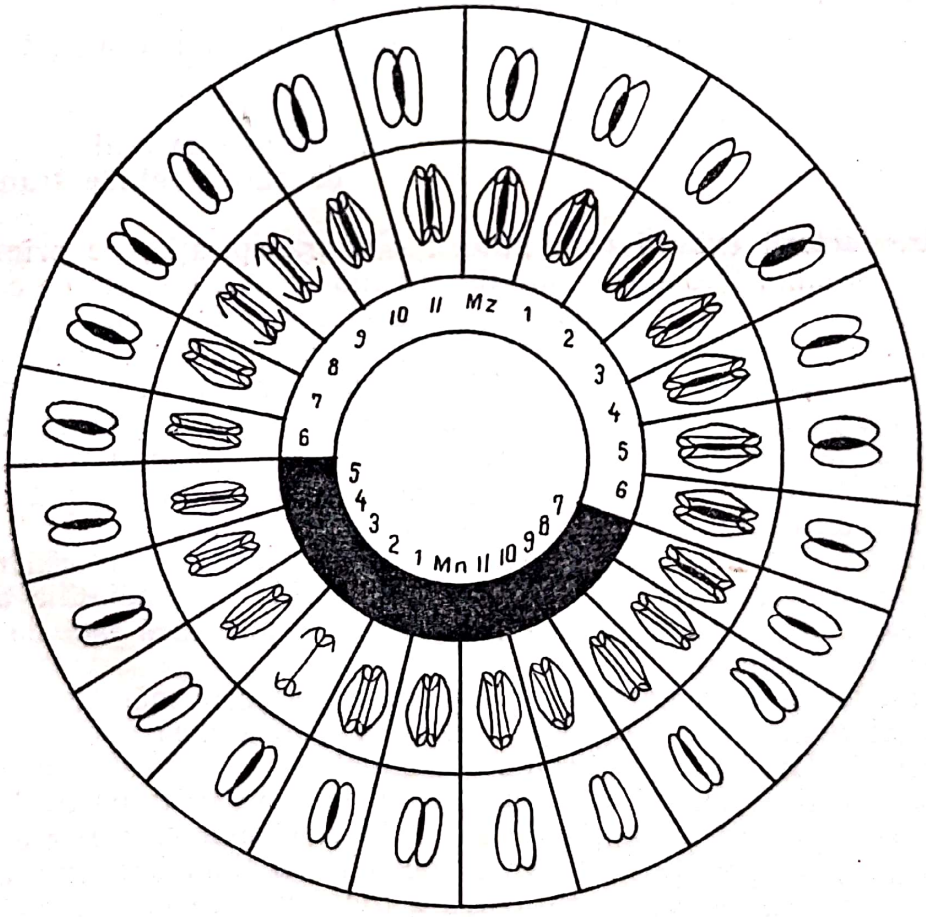


Fig. 38. Mersul deschiderii stomatelor la frunzele de cartof (cercul exterior) și de porumb (cercul interior) în decursul a 24 de ore :
Mz — mijlocul zilei; *Mn* — mijlocul nopții (după N. A. M a k s i m o v)

Scanned with OKEN Scanner

mare decît diametrul porului, luat de 10 ori. În cazul frunzelor, în linii generale, această condiție este respectată. Difuziunea vaporilor prin ostiolele deschise are loc într-un fel asemănător cu acel al unei suprafețe libere, egale cu suprafața frunzei. Deshiderea ostiolelor variază și în cursul zilei. În cazul mersului normal al variației factorilor externi, mișcările celulelor stomatice variază în mod ritmic, foarte regulat. La anumite ore ostiolele sînt larg deschise, iar la altele mai mult sau mai puțin închise. Variația aceasta regulată se poate reprezenta sub forma unui cadru de ceas (fig. 38).

Constatarea stării de deschidere a ostiolelor se poate face prin mai multe procedee. La baza unora stă observarea directă cu ajutorul lupei, dar cu condiția ca frunza să fie transparentă. Se mai poate recurge la o peliculă de colodiu, care, turnată în stare lichidă, se mulează după forma ce o au celulele stomatice în momentul respectiv. Fiind detașată după solidificare și examinată la lupă, ea redă starea de deschidere a ostiolelor. Metodele bazate pe fixarea rapidă a celulelor epidermice cu alcool absolut pot fi utilizate numai în cazul speciilor la care epiderma poate fi desprinsă foarte ușor. Utilizarea lichidelor cu gradul diferit de înfiltrație prin pori (în legătură cu tensiunea lor superficială) permite constatarea rapidă a stării stomatelor chiar în condiții de cîmp.

În condiții de laborator se utilizează porometrul lui D a r w i n.

5. Factorii externi de care depinde transpirația

Dintre factorii externi care influențează transpirația, pe primul plan se situează lumina. Deoarece radiațiile luminoase sînt însoțite de cele calorice, rezultă că lumina ar trebui să influențeze în primul rînd ca sursă de energie necesară pentru evaporarea apei. În cazul acesta, transpirația la întuneric se datorește energiei calorice rezultate în urma respirației. Această transpirație însă este foarte slabă. Se constată însă că rolul luminii nu se reduce la acel al sursei de energie calorică. După cum s-a arătat mai sus: mecanismul de deschidere a ostiolei este legat de influența acestui factor prin intermediul unei serii de reacții fotochimice.

În sfîrșit, lumina influențează direct protoplasma, micșorîndu-i forța de opunere la trecerea apei. Cercetările au arătat că radiațiile albastru-violete determină o transpirație de 1½ ori mai puternică față de aceea a radiațiilor roșii-galbene.

Un alt factor important este temperatura. Aceasta mărește deficitul de saturație al atmosferei, fapt care accelerează difuziunea vaporilor de apă în atmosferă. Gradul de saturație a plantelor cu apă influențează mult mișcările celulelor stomatice, iar de aici și procesul de transpirație.

Mișcarea aerului, vîntul, favorizează îndepărtarea vaporilor de apă rezultați în urma transpirației. În cazul transpirației stomatice, vîntul prezintă importanță directă numai pentru etapa a treia, cînd vaporii de apă ies prin ostiolele deschise. Influența directă a acestui factor se remarcă și în cazul transpirației cuticulare. În unele cazuri, transpirația cuticulară a atins valori de 3—8 ori mai mari față de transpirația constatată în lipsa vîntului.

Scanned with OKEN Scanner

Substanțele anestezice micșorează intensitatea transpirației. În natură există numeroase plante care emit uleiuri eterice. E. Teodorescu (1923) a arătat că în concentrație mică, aceste uleiuri eterice, emanate sub formă de parfumuri, determină scăderea transpirației la speciile respective.

Dacă se reprezintă în mod grafic variația acestor factori în cursul unei zile, precum și variația transpirației, se constată existența unui paralelism al acestor curbe. Acest paralelism arată influența directă a factorilor externi asupra procesului de transpirație.

Totuși, în cazul cînd variația factorilor trece de anumite limite optime, se remarcă o modificare a transpirației, care nu mai urmează mersul de variație a factorilor externi. În cursul zilelor de primăvară, cînd variația factorilor nu trece de anumite limite optime, maximul de transpirație se remarcă la orele de la amiază. În cursul acestor ore, factorii externi prezintă valori maxime, dar care sînt favorabile pentru viața plantei, ea devenind maximă. Curba ce reprezintă mersul transpirației prezintă un maxim la orele de la amiază.

În cursul zilelor de vară, cînd temperatura de la amiază crește peste limita optimă, se constată scăderea procesului de transpirație. La orele de după-amiază, temperatura scăzînd, procesul de transpirație se intensifică. Scăderea procesului de transpirație se datorește ostiolelor care se închid în mod hidroactiv. Curba ce reprezintă mersul transpirației capătă două maxime — unul dimineața și unul după masă, iar la mijloc se caracterizează printr-un minim corespunzător orelor de la amiază.

C. CIRCULAȚIA APEI IN CORPUL PLANTEI

Apa, absorbită de către perișorii rădăcinii, trebuie să străbată o cale destul de lungă pînă la nivelul frunzelor, unde ea se pierde prin procesul de transpirație. Această circulație se interpune între organul de absorbție și acel de pierdere a apei, determinînd o strînsă legătură funcțională între organele distanțiate spațial.

Din punct de vedere anatomic, această cale este reprezentată prin elemente deosebite mult între ele (fig. 39). Pe de o parte, acestea sînt elemente vii, reprezentate prin celulele din parenchimul rădăcinii și a frunzei, iar pe de altă parte, acestea sînt elemente lipsite de viață, reprezentate prin trahei și traheide, constituind țesutul conducător lemnos.

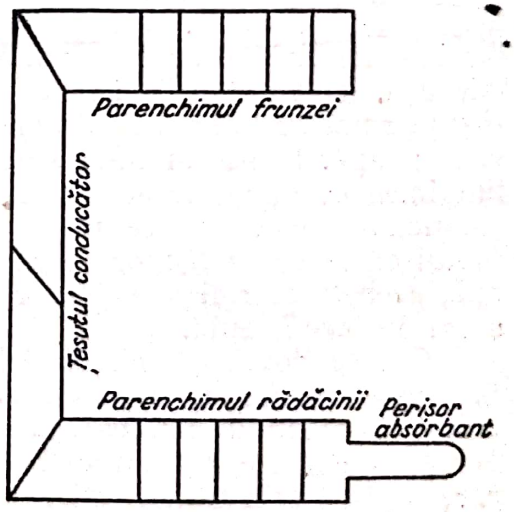


Fig. 39. Schema circulației apei în corpul plantei

1. Circulația apei prin celulele vii.

Între perișorul absorbant și vasele de lemn ale rădăcinii se găsesc o serie de celule vii care formează scoarța, iar către interiorul rădăcinii formează cilindrul central. Apa circulă prin aceste celule pe baza forțelor osmotice, și anume a forței de sugere. Originea și menținerea acestei forțe de sugere rezidă în afara rădăcinii, constituind așa-numita absorbție pasivă a rădăcinii.

Tot la nivelul rădăcinii are loc și o absorbție activă, care este urmată de împingerea sub presiune a apei în interiorul vaselor de lemn. Această împingere, după cum s-a arătat mai sus, constituie presiunea radiculară. Celulele vii ale rădăcinii funcționează în felul unei pompe aspiro-respingătoare.

La nivelul frunzei, între ostiolele prin care apa se pierde și vasele de lemn ale nervurilor se interpun o serie de celule vii, parenchimatice, constituind o cale asemănătoare cu cea de la nivelul rădăcinii. Ele se deosebesc de celulele rădăcinii prin faptul că funcționează mai mult în felul unor pompe aspiratoare. Fiecare din aceste celule, printr-un capăt îndreptat spre nervură, absoarbe apa, iar prin capătul opus, celula o cedează celulei vecine.

Determinările făcute au arătat că viteza de circulație a apei prin celulele vii este destul de mică ; cel mult 1 mm pe oră. Deoarece o astfel de circulație are loc pe distanțe mici, atît la rădăcină, cît și la frunză, ea nu aduce prejudicii regimului de apă al plantelor.

La plantele cu o organizație inferioară, adică la cele la care lipsesc țesuturile speciale de conducere a apei, circulația la nivelul celulelor vii determină dimensiunea mică a corpului lor. Așa sînt, de exemplu, mușchii, lichenii ș.a.

Circulația înceată la nivelul celulelor vii poate fi demonstrată în mod comparativ cu cea prin vasele de lemn, printr-o experiență foarte simplă. Se taie fîșii egale dreptunghiulare din limbul unei frunze cu nervațiunea paralelă, de exemplu de *Aspidistra*. Un lot de fîșii se taie în așa fel, încît direcția nervurilor să fie paralelă cu lungimea fîșiei. Lotul al doilea se taie așa, încît nervurile să fie perpendiculare pe lungimea dreptunghiului. Fîșiile ambelor loturi se introduc cu latura corespunzătoare lățimei într-un vas cu apă. După un timp se constată că fîșiile cu nervurile paralele cu lungimea dreptunghiului rămîn turgescente, pe cînd cele cu nervurile perpendiculare încep să se usuce la capătul superior. Explicația constă în faptul că în cazul fîșiilor ce au nervurile așezate cu un capăt în vasul cu apă, aceasta se ridică mai ușor prin vasele de lemn și menține celulele în stare de turgescență.

O altă dovadă a circulației încete o constituie faptul că algele filamentoase, scoase cu un capăt numai de 2 mm din apă, se usucă rapid, deși restul filamentului rămîne scufundat în apă. Deși distanța ce trebuie parcursă este foarte mică, totuși apa nu reușește să ajungă pînă la celulele care o pierd prin transpirație.

La plantele cu o organizație superioară s-au diferențiat țesuturi speciale prin care apa poate să circule mult mai rapid. Aceste țesuturi se găsesc între

celulele vii ale rădăcinii și cele ale frunzelor, întinzîndu-se pe distanțe de zeci și sute de metri. Prezența acestor căi de conducere a permis evoluția plantelor superioare pînă la mărimi gigantice ale corpului lor. De exemplu, *Sequoia* și eucaliptul, care ajung la o înălțime de 140—150 m.

Apa din vasele de lemn circulă mai rapid, mai ales la nivelul traheilor. Aflîndu-se în stare liberă, ea poate fi luată ușor de către elementele vii situate pe tot parcursul căilor de conducere.

2. Circulația apei prin țesutul conducător lemnos

Țesutul conducător lemnos este format din elemente lipsite de viață, alcătuite din membrană. În cazul gimnospermelor, elementele conducătoare formează așa-numitele traheide. La angiosperme, vasele lemnoase sînt formate din trahei. Acestea prezintă membranele transversale la distanțe mari, așa încît apa poate să circule mai liber.

Există numeroase metode prin care se poate demonstra circulația apei la nivelul acestor elemente.

Cea mai veche este metoda decorticărilor, prin care se întrerupe continuitatea țesuturilor din scoarță, precum și a celui liberian. Întreruperea se face prin înlăturarea sub formă de inel a unei porțiuni circulare a tulpinii, pusă, cu un capăt în apă. Se constată că tulipna continuă să-și păstreze turgescența, fapt care dovedește că apa urcă de-a lungul țesutului lemnos, singurul rămas neîntrerupt.

Prin utilizarea parafinei se poate demonstra că atunci cînd vasele de lemn sînt astupate cu parafină, iar celelalte țesuturi sînt intacte, ramura se usucă. Se utilizează parafina în stare lichidă la 30°, în care se implîntă capătul ramurii. După solidificarea parafinei, ramura se scoate, se împrospătează suprafața de secțiune și se introduce în apă. Se constată ofilirea și uscarea ramurii. Examinarea la microscop a unei secțiuni transversale, făcută la capătul inferior, arată că numai lumenul vaselor de lemn este astupat cu parafină.

Metoda coloranților sub formă de soluții în care se introduc ramurile permite urmărirea căii de circulație a apei în toate organele plantei.

Cu ajutorul metodelor folosite s-au putut demonstra unele particularități ale circulației apei la nivelul țesutului lemnos.

S-a constatat că la plantele lemnoase, numai o parte din lemn servește pentru conducerea apei. Prin introducerea trunchiului într-o soluție de colorant s-a observat colorarea în primul rînd a inelului anual din anul curent. Aceste elemente sînt în continuare directă cu frunzele și ramurile tinere în spre care se face afluxul intens de apă. Elementele celorlalte inele anuale, mai vechi servesc la conducerea apei doar într-o măsură din ce în ce mai mică. La arbori mai bătrîni, numai alburnul servește pentru conducerea apei. Duramenul prezintă elementele umplute cu tile, rășini și nu permite trecerea apei. Așa este la stejar, pin ș.a.

Scanned with OKEN Scanner

S-a constatat că circulația apei se face rapid după o direcție verticală și foarte încet după o direcție transversală.

Prin metoda coloranților, și apoi a izotopilor radioactivi s-a observat circulația apei sub formă de fîșii longitudinale, mergînd de la rădăcină spre ramuri. S-a stabilit că anumite porțiuni ale rădăcinii deservesc anumite ramuri ale coroanei. Prin întreruperea locală a vaselor, curentul vertical se abate după o direcție oblică, dar ocolind obstacolul, devine din nou vertical. Acest lucru demonstrează că apa circulă cel mai rapid după o direcție verticală, ceva mai rapid are loc circulația transversală la g i m n o s p e r m e și cu mult mai încet la a n g i o s p e r m e. Dacă se fac întreruperi de țesut lemnos, prin secționare transversală, la diferite înălțimi de-a lungul trunchiului, în cazul gimnospermelor, curentul de apă, deși foarte sinuos, reușește să aprovizioneze ramurile în mod normal cu apă. La angiosperme din contra, ramurile se usucă datorită circulației oblice-transversale foarte încete.

Metoda coloranților a demonstrat că vasele de lemn reprezintă căi destul de izolate de mediul exterior. Soluția de coloranți nu poate să pătrundă în vasele de lemn decît numai atunci cînd trunchiul a fost separat de rădăcină. Observarea anatomică directă arată că terminațiile cele mai fine ale vaselor conducătoare sînt înconjurate de către celule vii. Aceste celule izolează vasele conductoare atît de contactul direct cu mediul înconjurător, cît și de contactul cu aerul din meaturi.

3. Forțele care determină circulația apei

Una din forțele despre care s-a vorbit mai sus este presiunea radiculară. Valoarea acestei presiuni a fost determinată cu ajutorul unui manometru așezat la capătul porțiunii de tulpină, rămas în continuarea rădăcinii. Datele obținute au arătat că la plantele ierboase, această presiune are o valoare de 0,5—1 atmosfere, iar la arbori, de exemplu la mesteacăn, ajunge pînă la 2 1/2 atmosfere. Calculele făcute indică că o astfel de forță poate contribui la ridicarea apei la o înălțime de numai 5 m.

În același timp s-a constatat că presiunea radiculară se manifestă numai în cursul primăverii. Vara, cînd transpirația este foarte intensă, din contra, la nivelul vaselor de lemn se constată o presiune negativă. Astfel, dacă pe suprafața de secțiune a trunchiului rămas în legătură cu rădăcina se pun cîteva picături de apă, în cursul verii, apa este absorbită de către vasele de lemn secționate. În cursul primăverii, din contra, din aceste vase mustește un lichid care constituie apa cu sărurile minerale absorbite și împinse cu forță de către rădăcină. Prin urmare, presiunea radiculară nu poate constitui forța principală care să contribuie la circulația apei la distanțe mari, de zeci de metri.

Problema forței ce determină urcarea apei în vasele de lemn a determinat emiterea a numeroase teorii.

Astăzi, teoriile bazate pe principiul forțelor capilare, precum și a îmbibiției pereților fac parte din domeniul istoricului fiziologiei. S-ar părea că

explicația cea mai simplă ar fi aceea bazată pe forța de aspirație a frunzelor.

Proprietatea frunzelor de a determina urcarea apei într-un tub, datorită transpirației, se poate demonstra printr-o experiență simplă (fig. 40). La un capăt al tubului se introduce o ramură cu frunze prin intermediul unui dop. Tubul se umple cu apă, iar capătul rămas liber se introduce într-o cuvetă cu mercur. Tubul rămîne într-o poziție perfect verticală. Se observă că în locul apei pierdute datorită transpirației, pătrunde mercurul. Acesta poate să se ridice la o înălțime mai mare decît cea arătată de presiunea baromterică. În cazul acesta rezultă că urcarea mercurului nu se datorește presiunii atmosferice. Experiența reușește dacă se iau măsuri pentru ca aerul să nu pătrundă în tub și să întrerupă continuitatea dintre apă și mercur. De obicei însă, mercurul nu poate să urce la înălțimi mari, deoarece din cauza tensiunii care se naște în interiorul tubului apare o presiune negativă care favorizează pătrunderea aerului din interiorul țesuturilor ramurii. Ca urmare, coloana se întrerupe, iar mercurul se lasă în jos.

Principala obiecție ridicată în calea admiterii forței de aspirație a frunzelor a fost constatarea prezenței bulelor de aer în interiorul vaselor de lemn. Deoarece acestea întrerup continuitatea coloanei de mercur în tub, s-a tras concluzia că ele determină întreruperea și a coloanei de apă din vasele de lemn.

Meritul de a fi demonstrat posibilitatea urcării apei la înălțimi mari, prin intermediul evaporării, i-a revenit lui Askenasy (1896).

Acesta a montat o experiență cu un tub de sticlă lung, lărgit la capătul superior sub forma unei pîlnii. În pîlnie a fost amenajat un con de ghips (fig. 41). Tubul a fost umplut cu apă fiartă pentru a nu conține bule de aer. Capătul inferior al tubului a fost introdus într-o cuvetă cu mercur. Conul de ghips fiind străbătut de pori, era plin de apa ce se continua cu cea din tub. Pe suprafața conului de ghips, porii pierdeau apa prin evaporare, care însă era imediat înlocuită de către apa din tub. Această evaporare a determinat urcarea apei, și apoi a mercurului în interiorul tubului de sticlă. Ridicarea a ajuns la o înălțime mai mare decît cea barometrică, și anume la 111,1 cm, în locul celei normale de 74,4 cm.

Explicarea acestui fenomen este următoarea: conul de ghips, contrar

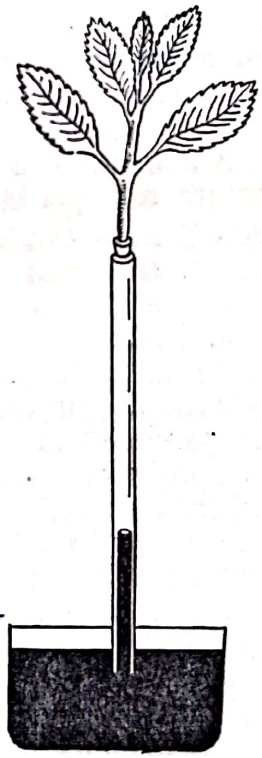


Fig. 40. Punerea în evidență a rolului transpirației frunzelor în urcarea apei în tulpina plantelor

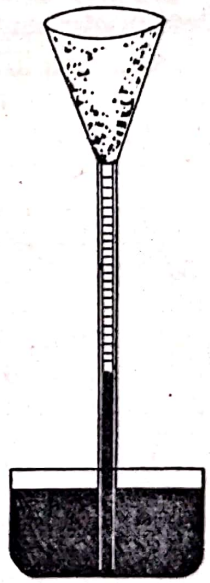


Fig. 41. Experiența lui Askenasy cu privire la forța de sugere provocată de evaporarea apei la nivelul conului de ghips

Scanned with OKEN Scanner

ramurii, nu conține bule de aer. Numeroasele capilare ce-l străbat sînt umplute cu apă. Moleculele de apă de pe suprafața meniscului fiecărui por se desprind sub formă de apă evaporată. În locul acestor molecule se ridică altele din interiorul tubului capilar, tinzînd să refacă meniscul. Această urcare a moleculelor din capilare se transmite în tot lungul vasului capilar, și apoi a tubului, datorită forțelor de coeziune. Limita pînă la care se ridică apa din tub este determinată de forța cu care absorb apa capilarele din conul de ghips. Coloana de apă din tub nu se întrerupe, deoarece forța de coeziune a apei atinge 350 de atmosfere.

Această experiență își găsește analogia cu cele ce se întîmplă la nivelul frunzelor. Celulele din mezofil pierd apa de pe suprafața membranelor prevăzute cu microcapilare. În vacuola celulelor apare forța de sugere. În baza acesteia, celulele absorb apă din vasele de lemn ale nervurilor, așa încît întregul fir de apă din vas apare tras în sus de către forța de sugere a celulelor din vecinătatea vasului respectiv.

Deoarece la baza continuității firelor de apă stă coeziunea moleculelor, teoria a căpătat numele de teoria coeziunii. În realitate, forța care determină urcarea apei nu este cea a coeziunii, ci forța de sugere, care se poate transmite numai cu condiția ca firele de apă să fie continui. Această continuitate se bazează atît pe coeziune, cît și pe aderența moleculelor de apă de pereții vaselor de lemn.

Experiențele au arătat că forțe de coeziune mari ale moleculelor de apă există chiar la nivelul celulelor. Astfel, la celulele inelului mecanic al sporangelui de ferigă a fost găsită o forță de 316 atmosfere. Această forță este suficientă pentru a menține o coloană de apă de 3 000 m în înălțime, și deci poate asigura urcarea apei la arbori foarte înalți.

Pereții celulelor vii fiind celulozici, deci hidrofili, absorb apa, pe care o reține cu o mare forță. În cursul procesului de transpirație, pierderea apei fiind mare, în vase apare tensiunea hidrostatică, adică apa apare în stare de presiune negativă. Presiunea negativă rezultă clar din faptul că apa, pe de o parte, este reținută de pereții vaselor, iar pe de altă parte, este absorbită de către forța de sugere a celulelor. Apa din vase apare sub forma unor fire „suspendate" la capătul lor superior. Forța de gravitație determină o stare de întindere, iar forțele de coeziune nu permit ruperea firelor întinse. Presiunea negativă determină scăderea proprietății de difuziune a apei din vase, dar în celulele învecinate, gradul de difuziune este mare. Acest gradient al difuziunii determină trecerea apei de la perișorii absorbanți, prin scoarța rădăcinii, pînă la vasele de lemn.

Starea de tensiune negativă devine maximă în orele de la amiază, cînd cantitatea de apă transpirată întrece pe acea absorbită. Firele de apă se subțiază mult, însă vasele de lemn, deși se îngustează, nu-și alipesc pereții, căci îngroșările membranei împiedică acest lucru. Cu ajutorul unui dendrograf se poate constata îngustarea diametrului tulpinii și îngustării lumenului vaselor de lemn.

Prezența tensiunii negative în trunchiul arborilor este folosită deseori pentru colorarea lemnului cu diferite soluții. În trunchiul rămas cu coroană și cu frunze se introduce soluția de colorant prin inciziile făcute la baza sa-

Scanned with OKEN Scanner

Forța de aspirație a frunzelor determină urcarea rapidă a soluției prin vasele de lemn.

Deoarece forța de coeziune poate să acționeze numai în lipsa bulelor de aer din interiorul vaselor, trebuia demonstrat dacă acestea participă sau nu la circulația apei.

Observațiile directe făcute la plantele cu tulpina transparentă au arătat că vasele acestora nu conțin bule de aer. Prin metoda injecției de coloranți s-a putut demonstra lipsa bulelor de aer și la tulpina plantelor lemnoase. La aceste plante, lemnul tînăr nu conține bule de loc, iar elementele mai bătrîne, în mod treptat se umplu cu aer, mai ales acelea cu lemnul moale. Calculele arată că în lemnul din ultimii 10 ani, aerul ocupă abia 6—10% din volumul acestuia.

Se întîmplă cîteodată ca aerul să pătrundă totuși în urma unei răniri. În cazul acesta, răspîndirea bulelor se reduce la o anumită porțiune, delimitată de către pereții transversali. În mod treptat, aceste bule se resorb datorită tensiunii negative generale din vasele rămase întregi. Cu cît elementele lemnoase sînt mai scurte, adică cu pereții transversali mai apropiați, cu atît apariția bulelor se face pe o întindere mai redusă. În această privință, lemnul gimnospermelor prezintă oarecare avantaje față de cel al angiospermelor. Deși la acestea din urmă circulația apei este mai rapidă, în schimb însă la gimnosperme apariția bulelor, în urma rănilor, prezintă un pericol mai mic. Așa se explică și cauza pentru care la gimnosperme, apa circulă chiar și la nivelul lemnului bătrîn, care desigur că conține și bule de aer.

Greutățile întîmpinate în admiterea forței de aspirație a frunzelor datorită faptului că nu se cunoștea rolul coeziunii coloanei de apă din vasele lemnoase, a determinat pe unii cercetători să presupună participarea celulelor vii din parenchimul lemnos la conducerea apei din vase.

După fiziologul indian B o s e (1923), celulele din jurul vaselor de lemn au proprietatea de a secreta apa în interiorul vaselor de lemn. Prin această secreție ele măresc presiunea mecanică a apei din vase, fapt care contribuie la circulație. Cu ocazia secreției, celulele execută mișcări de pulsație, care au fost înregistrate de către autor. Rolul vaselor apare mai mult asemănător cu al unor rezervoare de apă.

Participarea celulelor vii la circulația apei din vase a fost combătută prin numeroase dovezi experimentale.

E. F. V o t c i a l (1897) a determinat viteza de circulație a apei din lemn prin pomparea ei sub presiune după două sensuri contrarii. El a constatat că această viteză este absolut identică, indiferent de sensul circulației. Rezultă că celulele vii ale tulpinei, din jurul vaselor nu participă în mod activ la circulația apei.

La aceeași concluzie a ajuns și S t r a s s b u r g e r. Acesta a determinat moartea elementelor din trunchiul unui copac, pe o anumită porțiune. Introducînd capătul interior al trunchiului într-o soluție de colorant, aceasta s-a urcat pînă la frunze, trecînd prin porțiunea ce avea elementele vii omorîte. Proprietatea celulelor vii de a participa la circulația apei este admisă numai la nivelul rădăcinii și al frunzelor. La nivelul tulpinii se admite participarea

Scanned with OKEN Scanner

lor în mod indirect. Celulele vii izolează vasele de lemn de contactul direct cu aerul din meaturi, împiedică astuparea vaselor cu tile, gome, rășini etc.

Prin urmare, circulația apei în tulpina plantelor, la distanțe mari de rădăcină se datorește presiunii radiculare și forței de sugere a frunzelor. Deoarece formarea forței de sugere se datorește luminii solare ce acționează prin intermediul transpirației, rezultă că plantele folosesc pentru urcarea apei o energie pe care o dăruiește natura. Crearea acestei energii nu cere cheltuială de substanțe asimilate din corpul plantei. Numai la nivelul rădăcinii, unde absorbția apei este controlată de către celulele vii, plantele cheltuiesc energia proprie pentru a învinge rezistența opusă la intrarea apei de către protoplasma vie. Trecerea apei prin protoplasma vie este absolut necesară pentru a se putea face o selecție a substanțelor ce intră în corpul plantei. În caz contrar, fără intervenția celulelor vii, o dată cu apa ar intra în vase diferite substanțe toxice care, concentrîndu-se în frunze, ar determina moartea plantei.

4. Viteza de circulație a apei în plantă

Viteza de circulație a apei variază în legătură cu specia plantei, precum și în legătură cu factorii de mediu.

Determinarea vitezei de circulație poate fi făcută cu ajutorul mai multor metode.

Cel mai corect ar fi de înregistrat cantitatea de apă transpirată într-un anumit interval de timp de către frunzele unei ramuri. Această cantitate se împarte la suprafața de secțiune a căilor de circulație, iar valoarea reprezintă viteza de circulație.

La plantele lemnoase, lemnul de primăvară al lăstarilor, participînd în întregime la conducerea apei, calculul acesta poate fi făcut cu o precizie destul de mare. Rezultatele obținute au arătat că în cazul unei transpirații chiar destul de intense, la arborii cu frunze căzătoare, printr-un cm^2 al secțiunii trec 20 cm^3 pe oră, la gimnosperme însă, numai 5 cm^3 pe oră. Făcîndu-se comparație cu apa ce curge prin țevi cu o viteză de 100 cm^3 pe secundă sau cu sîngele ce trece cu 40—50 cm^3 pe secundă, rezultă că apa circulă prin plantele lemnoase de 15—20 de ori mai încet.

Metoda aceasta însă nu poate fi aplicată la plantele ierboase, unde țesutul lemnos este izolat sub formă de fascicole. Chiar și la plantele lemnoase, mai tîrziu, în cursul verii încep să predomine elementele vii ce nu participă la conducerea apei.

Deseori se folosește metoda coloranților. Tulpina se introduce într-un colorant vital, înregistrîndu-se momentul introducerii. Se urmărește distanța la care ajunge colorantul după un anumit interval de timp. Neajunsul acestei metode îl constituie faptul că pereții vasului adsorb colorantul, ceea ce micșorează valoarea vitezei de circulație.

Metoda termoelectrică constă în încălzirea locală a unei porțiuni decojite din tulpină, și apoi urmărirea sevei cu o temperatură mai mare, care circulă prin vase. Înregistrarea temperaturii se face cu ajutorul unor ace

Scanned with OKEN Scanner

termoelectrice introduse deasupra și sub locul încălzit. Rezultatul se raportează la timpul și la distanța parcursă.

Astăzi se utilizează mult metoda izotopilor radioactivi, printre care mai ales fosforul și rubidiul.

Deși rezultatele cercetărilor făcute variază în legătură cu metoda folosită, în linii generale s-a stabilit că la plantele ierboase, viteza de circulație a apei este cuprinsă între 10—60 m pe oră, la plantele lemnoase cu frunze căzătoare este de 4—44 m pe oră, iar la gimnosperme — de 0,15—0,30 m pe oră.

D. BILANȚUL HIDRIC AL PLANTELOR

1. Ofilirea plantelor

Dacă se măsoară cantitatea de apă transpirată într-o unitate de timp și se împarte cu cantitatea de apă absorbită de către rădăcini în același timp, se obține bilanțul de apă al plantei respective.

La o plantă matură, în condiții normale, apa pierdută în cursul transpirației este recuperată de către plantă, așa încît bilanțul hidric rămîne echilibrat. În asemenea condiții, turgescența celulelor este asigurată, funcțiile lor sînt normale, iar planta are toate organele tari și elastice.

a. *Ofilirea temporară*

În cazul zilelor călduroase de vară, în cursul orelor de la amiază, apa pierdută prin transpirație întrece apa absorbită cu ajutorul rădăcinii. Ca urmare a acestei situații se produce un dezechilibru al bilanțului hidric. Celulele din țesuturile frunzelor, nefiind hidratate în mod normal, pierd starea de turgescență. În cazul frunzelor și al tulpinelor tinere, datorită pierderii turgescenței, ele se lasă în jos, dînd fenomenul numit ofilirea.

Către seară, cînd temperatura scade, transpirația se reduce de asemenea. Apa absorbită de către rădăcină în mod treptat reușește să o înlocuiască pe cea pierdută în cursul zilei. Celulele recăpătîndu-și turgescența, determină dispariția stării de ofilire. Deseori, restabilirea stării de turgescență are loc în cursul nopții, cînd transpirația este redusă mult. Această ofilire de scurtă durată a fost denumită ofilirea temporară.

Deși trecătoare, ofilirea temporară nu rămîne fără nici o influență pentru viața plantelor. În timpul ofilirii stomatele se închid, așa încît procesul de fotosinteză se întrerupe. Deci chiar o ofilire temporară contribuie la scăderea recoltei.

Fenomenul de ofilire nu se manifestă la fel de ușor la toate plantele. La cele de umbră, de exemplu, ofilirea apare extrem de ușor. O pierdere de apă egală numai cu 3% din totalul apei din plantă duce la fenomenul de ofilire. La plantele ce cresc în locurile însorite, de exemplu la floarea-

Scanned with OKEN Scanner

soarelui, ofilirea apare după ce planta pierde mai mult de 25% din totalul apei conținute în corpul său.

Această situație se explică prin gradul diferit de elasticitate a membranelor celulare. În cazul plantelor de umbră, membranele sînt foarte puțin elastice. În timpul stării de turgescență a celulelor, membranele sînt în stare întinsă, dar numai datorită saturației în apă, și nu a elasticității. Îndată ce cantitatea de apă scade, membranele nefiind elastice, se sbîrcesc. Ca urmare începe ofilirea chiar la o pierdere de apă foarte mică. În cazul plantelor ce cresc în condițiile de lumină intensă, membranele celulare sînt elastice. În stare de turgescență, ele sînt întinse elastic, iar pe măsura pierderii de apă, ele se contractă fără a se zbîrci. Așa se explică faptul că ofilirea la aceste plante apare numai după ce planta pierde o mare cantitate de apă.

Rezultă deci că ofilirea temporară apare în urma dezechilibrului creat în bilanțul hidric al plantelor. Acest dezechilibru este perturbat datorită unei transpirații intense, fără a fi legat în mod direct de cantitatea apei din sol. Ofilirea poate să apară chiar dacă solul conține cantitatea suficientă de apă.

b. *Ofilirea de durată*

Altfel stau lucrurile în cazul cînd solul conține apă în cantitate insuficientă. Plantele ofilite în cursul orelor de la amiază, datorită lipsei de apă în sol, nu revin din această stare nici în cursul nopții. Dimineața, plantele apar ofilite. Acest fel de ofilire se numește de durată.

Ofilirea de durată este primul semn că plantele nu mai găsesc cantitatea suficientă de apă în sol. Apa din sol nu poate să înlocuiască apa pierdută în cursul zilei. Plantele rămîn cu un deficit de apă de pe o zi pe alta, din care cauză acest deficit a căpătat numele de restant.

Ofilirea de durată determină modificări mari în tot corpul plantei. Procesul de fotosinteză decurge slab, iar cloroplastele, în mod treptat se dezorganizează. Stomatele fiind închise, determină perturbarea procesului de respirație care necesită accesul liber al oxigenului. Ostiolele rămîn în cea mai mare parte a timpului în stare închisă. Starea de ofilire modifică gradul de dispersie al colidelor protoplasmei. Aceasta din urmă devine permeabilă, încît permite exosmoza electrolitelor.

În cursul ofilirii de durată, schimbul de substanțe suferă mari modificări. Activitatea fermenților suferă variații profunde. Încă primii cercetători au constatat că în timpul deshidratării, amidonul din frunze suferă hidrolize. În locul amidonului se acumulează zaharuri solubile. Acumularea acestora prezintă o mare importanță protectoare pentru celule, deoarece zaharurile sînt osmotic active.

În cazul unor condiții normale de mediu, frunzele prezintă fermenți cu activitatea sub forma unui anumit raport între cea sintetică și cea hidrolitică. La frunzele cu ofilire temporară, complexul de fermenți acționează în mod reversibil: în condițiile hidratării insuficiente predomină activitatea hidrolitică, cînd amidonul este transformat în zaharuri; în condițiile cînd hidratarea devine normală, amidonul este resintetizat din zaharurile for-

Scanned with OKEN Scanner

mate. La frunzele ce au suferit ofilirea de durată, revenirea la condițiile unei hidratări normale nu mai este urmată de revenirea fermenților la activitatea de sinteză.

Datorită creșterii presiunii osmotice are loc inhibarea procesului de fotosinteză. Experiențele făcute cu alga monocelulară *Chlorella* au arătat o strînsă legătură între presiunea osmotică a celulei și procesul de fotosinteză. Alga a fost introdusă în medii cu concentrații diferite, care au determinat modificarea presiunii osmotice a celulelor. S-a constatat că o soluție de numai 0,5—0,6 mol de zaharoză a determinat scăderea bruscă a fotosintezei. Contrar fotosintezei, în cursul ofilirii de durată procesul de respirație crește foarte mult (tabel 4).

Tabelul 4

Intensitatea respirației frunzelor în cursul ofilirii
(după B. A. Rubin)

Cantitatea de apă din frunze	Intensitatea respirației în %
100,0	100
87,6	121,3
78,4	188,7
72,4	204,2

După cum rezultă din aceste date, pierderea apei numai cu 1/8 a determinat la frunze o creștere a respirației aproape de 2 ori.

Procesul de creștere se oprește datorită perturbării proceselor de sinteză ale substanțelor proteice. Perișorii absorbanți se usucă în mod treptat. Acest fel de plante, smulse din pămînt, prezintă rădăcini lipsite de fire de nisip ce aderă de obicei pe perișorii absorbanți. Meristemul din vîrfurile rădăcinilor rămîne un oarecare timp în stare vie, așa încît după ploaie poate să refacă zona absorbantă a rădăcinii. În cazul cînd acesta moare, planta nu se mai poate reface nici după ploaie.

Modificările ce au loc datorită ofilirii de durată, variază în legătură cu faza de creștere și de dezvoltare a plantelor. În cazul ofilirii are loc o redistribuire a apei între organele plantei. Celulele țesuturilor embrionare prezintă o concentrație mai mică a sucului vacuolar față de cea a celulelor mature. Acestea din urmă sustrag apa de la cele tinere, care își vor opri creșterea. De asemenea, celulele organelor mature atrag apa de la țesuturile bătrîne. Acestea din urmă prezintă coloidele protoplasmei mai puțin hidrofile, adică rețin apa mai slab. Frunzele inferioare, bătrîne pierd apa, se îngălbenesc și se usucă. Prin modificarea gradului de dispersie a coloidelor, ofilirea de durată determină îmbătrînirea plantelor.

Acestea sînt numai cîteva aspecte legate de perturbarea bilanțului hidric al plantelor. În ce privește rezistența plantelor la secetă, ea va constitui subiectul capitolului ce tratează rezistența plantelor la condițiile nefavorabile ale mediului.

La plantele lemnoase, intensificarea transpirației peste cea a procesului de absorbție, în orele de la amiază, nu determină perturbări imediate atît de profunde ca la plantele ierboase. Trunchiul arborilor conține o rezervă de apă atît de importantă, încît reușește să completeze cheltuiala mare cu ocazia unei transpirații mai intense. Datorită acestui fapt, la nivelul țesuturilor trunchiului se poate constata o variație a cantității de apă atît în cursul zilei, cît și în cursul anului.

Scanned with OKEN Scanner

Astfel, la molid s-a găsit în părțile periferice ale lemnului, dimineața 65% apă, la amiază — 57%, iar seara — 60%.

În cursul anului, cantitatea maximă de apă corespunde anotimpurilor primăverii și începutul iernii. Minimul revine sfîrșitului iernii și începutului toamnei. Maximul de primăvară se datorește presiunii radiculare, care pompează apa în mod activ, în timp ce transpirația este aproape inexistentă din cauza lipsei frunzelor. Pe măsura dezvoltării suprafeței foliare, cantitatea de apă din trunchiu scade, așa încît în iulie-septembrie apare un minim de toamnă.

După căderea frunzelor, adică după reducerea suprafeței de transpirație, cantitatea de apă din tulpină crește, așa încît la începutul iernii apare al doilea maxim. Acesta scade în cursul iernii, iar spre primăvară apare al doilea minim. Acest ritm de variație a cantității de apă din trunchiul arborilor depinde de condițiile climaterice ale regiunii. În zonele cu precipitații mai bogate primăvara și toamna se remarcă ritmul arătat mai sus. În regiunile cu precipitații mai puține se remarcă un singur maxim — vara și un singur minim — iarna.

Schimbarea cantității de apă determină variații în grosimea trunchiului. Aceste variații ale grosimii pot fi înregistrate cu ajutorul unui aparat numit dendrograf. Cu acest aparat s-a putut constata variația diametrului unui trunchi chiar în cursul a 24 de ore. Ziua, diametrul trunchiului scade, iar noaptea el se mărește. La foioase, aceste variații se constată numai pînă la căderea frunzelor ; la gimnosperme ele se manifestă în tot cursul anului.

BIBLIOGRAFIE

1. Chirilei, H., Puşcaş, M. şi Barbat, I., *Manual de fiziologia plantelor,* Bucureşti. Litografia şi tipografia învăţămîntului, 1957.
2. Crafts, A. S., Gurfier, H. B. şi Stocking C. R., *Voda i eio znacenie v jizni rastenii,* Moscova, I. L. (trad. din l. engleză).
3. Gusev, N. A., *Nekotorîe zokonomernosti vodnogo regima rastenii,* Moscova, 1959.
4. Maksimov, N. A. *Kratkii kurs fiziologhii rastenii,* Moscova, Selhozghiz, 1958.
5. Pop, E., Peterfi, S., Sălăgeanu, N. şi Chirilei, H., *Manual de fiziologia plantelor,* vol. II, Bucureşti, Ed. didactică a Min. Invăţămîntului, 1960.
6. Ruhland, W., *Handbuch der Pflanzenphysiologie,* Berlin-Göttingen, Heidelberg, Springerverlag, 1956—1960, vol. III — Pflanze und Wasser.
7. Sabinin, D. A., *Fiziologhiceskie osnovî pitania rastenii,* Moscova, Izd-va AN SSSR.
8. Zamfirescu, N., *Cercetări asupra absorbţiunii apei prin organele aeriene ale plantelor,* Bucureşti, Min. Agric. şi Domenii, 1931.

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul III

NUTRIȚIA MINERALĂ A PLANTELOR

1. Introducere

Un regim perfect de apă pentru plantă are o importanță esențială, dar plantele nu pot să trăiască și să crească numai cu apă. Ele mai au nevoie și de aer, și de substanțe minerale (săruri), substanțe pe care, de obicei, planta verde le ia din sol prin sistemul radicular. Substanțele minerale reprezintă hrana brută din care, prin procesul de asimilație, plantele verzi își prepară hrana organică necesară creșterii și dezvoltării lor. Bineînțeles că transformarea și asimilarea substanțelor minerale se petrece numai dacă plantele verzi primesc lumină și absorb din aer bioxid de carbon, din care ele își iau carbonul necesar sintezei substanțelor organice și oxigenul necesar respirației.

Procesul asimilării substanțelor minerale absorbite de către plante prin rădăcinile lor se realizează cu consum de energie, pe care ele o obțin prin reacțiile de oxidare a substanțelor organice în procesul respirației. Pentru asimilarea bioxidului de carbon, plantele folosesc energie solară, pe care o captează cu ajutorul pigmentului lor verde — clorofila.

Procesul nutriției plantelor cu substanțele minerale pe care plantele le iau din sol este astăzi destul de binecunoscut, însă dobîndirea cunoștințelor despre aceasta a fost de lungă durată, lentă și dificilă.

Primul om de știință care a recunoscut importanța substanțelor minerale din sol în creșterea și dezvoltarea plantelor a fost fizicianul elvețian Th. de Saussure, în lucrarea sa *Recherches chimiques sur la végétation*, publicată în 1804, fără însă să poată preciza exact elementele necesare.

Acela care a adus o clarificare în această problemă a fost Iustus von Liebig. În lucrarea sa, *„Chimia organică aplicată la agricultură și fiziologie,* publicată în 1840, arată că plantele au nevoie, pe lîngă apă și acid carbonic, de amoniac (NH_3), azotați (NO_3^-), acid fosforic, acid sulfuric, acid silicic, calciu, potasiu și fier.

Aceste cercetări, în general acceptate după publicarea lucrării lui Liebig, au stat la baza cercetărilor ulterioare, în care au fost lămurite numeroase aspecte al nutriției minerale, în special cu privire la stabilirea elementelor

Scanned with OKEN Scanner

necesare pentru nutriția plantei. În acest scop s-au folosit metode de cercetare chimice și fiziologice.

Astăzi aduc contribuții la studiul nutriției minerale numeroși oameni de știință din toate țările lumii, inclusiv din țara noastră.

2. Metodele pentru studiul nutriției minerale a plantelor

În studiul nutriției s-a plecat de la cunoașterea compoziției chimice elementare a plantei (metoda chimică analitică). Acestei metode i s-a alăturat apoi metoda sintetică (fiziologică), constînd din cultivarea plantelor pe medii nutritive artificiale preparate din elementele găsite la analiza chimică. Scopul folosirii acestei metode a fost acela de a cunoaște care sînt elementele necesare creșterii și dezvoltării normale a plantelor, a felului cum reacționează plantele la lipsa diferitelor elemente necesare, a concentrației optime în care ele se pot da și raporturile dintre ele.

a) *Metoda chimică.* Se determină mai întîi greutatea proaspătă, cîntărind o porțiune dintr-un organ oarecare de plantă (frunze, fructe, rădăcină etc.) în stare proaspătă. Se usucă după aceea materialul în etuvă la 100—105 °C, pentru îndepărtarea totală a apei. Uscarea materialului, la temperatura menționată, durează pînă cînd, după mai multe cîntăriri, el rămîne la greutatea constantă. Dacă apoi se arde partea de material rămasă după uscare, pe care o numim *materia uscată,* la temperaturi înalte de cîteva sute de grade, se constată că cea mai mare parte din această materie se volatilizează sub forma de vapori de apă, de bioxid de carbon și de amoniac. Partea care se volatilizează este reprezentată prin substanțe organice. După ardere rămîne o cantitate extrem de mică, un rezidiu de culoare gri-albicioasă. Aceasta este *cenușa,* care cuprinde numeroase substanțe anorganice.

Cenușa, în comparație cu partea organică ce s-a volatilizat prin ardere, reprezintă foarte puțin din greutatea materialului vegetal. Dacă presupunem materia uscată 100%, rezultă pentru partea organică care s-a volatilizat în medie 95%, iar pentru cenușă numai 5%. Raportată la greutatea materialului proaspăt, cenușa reprezintă mai puțin de 1%. Aceasta este cu atît mai surprinzător, cu cît substanțele existente în cenușă (nu toate) au cea mai mare importanță pentru viața plantei.

Cenușa vegetală are o compoziție chimică foarte complexă și foarte variată. Prin analiza chimică obișnuită se constată în cenușă prezența a numeroase substanțe, dintre care unele în cantitate mare, cum se poate vedea din tabelul 5.

Din cenușă lipsește azotul, pentru că în timpul arderii materialului vegetal se volatilizează o dată cu elementele carbon sub formă de CO_2, hidrogen și oxigen sub formă de vapori de apă, care fac parte din compoziția substanțelor organice.

În cenușa plantelor se mai găsesc și alte substanțe minerale, însă în cantitate mică, sau foarte mică, sau sub formă de urme. Prezența acestor substanțe se stabilește prin metode chimice mai sensibile și prin analize spectrale.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 5

Compoziția chimică a cenușei cîtorva organe de plante în %
(H. Vasiliu)

Organul	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	Fe_2O_3	P_2O_5	SiO_2	SO_3	Cl
Semințe de grîu	0,65	0,04	0,06	0,26	0,01	1,00	0,03	0,02	0,01
Semințe de porumb	0,42	0,03	0,03	0,23	0,02	0,68	0,33	0,02	0,02
Semințe de fasole	1,42	0,05	0,22	9,25	0,01	1,14	0,02	0,13	0,03
Semințe de bob	1,52	0,05	0,17	0,25	0,02	1,38	0,03	0,90	0,03
Semințe de rapiță	0,87	—	0,59	0,53	0,02	1,69	—	0,26	—
Tuberculi de cartof	2,28	0,10	0,10	0,18	0,05	0,65	0,08	0,25	0,12
Rădăcini sfeclă de zahăr	2,13	0,39	0,21	0,29	0,04	0,42	0,07	0,15	0,20
Paie de grîu	0,73	0,07	0,31	0,10	0,03	0,26	3,63	0,13	0,09
Strujeni	1,44	0,06	0,58	0,30	0,12	0,44	1,54	0,28	0,08
Fîn de graminee	1,86	0,26	1,11	0,48	0,11	0,49	2,01	0,36	0,43
Fîn de trifoi	2,10	0,14	2,41	0,74	0,07	0,67	0,16	0,21	0,27

S-au descoperit în cenușele vegetale circa 50 de elemente minerale, în afară de cele indicate în tabelul de mai sus. Dintre acestea menționăm: borul (B), cuprul (Cu), zincul (Zn), manganul (Mn), aluminiul (Al), molibdenul (Mo), cobaltul (Co), staniul (Sn), seleniul (Se), nichelul (Ni), titanul (Ti), bromul (Br), iodul (I), rubidiul (Rb), litiul (Li), cesiul (Ce) și multe altele. Primele șase elemente se găsesc în mod regulat în toate cenușile; celelalte elemente sînt prezente numai în unele cenuși.

Cantitatea în care diferitele elemente minerale intră în compoziția cenușii variază de la o specie la alta de plantă, de la un organ la altul, în funcție de vîrstă etc. Cenușa provenită din arderea semințelor și fructelor cărnoase (mere, pere, gutui etc.) conține mult potasiu (K) și fosfor (P). Cenușa obținută din tulpinile și frunzele cerealelor conține mult siliciu (Si), cea provenită din arderea rădăcinilor tuberizate și a tuberculilor de cartof conține mult potasiu (K). Cenușa obținută din tulpinile de in, de cînepă și de trifoi conține mult calciu.

Din analiza chimică a cenușii vegetale nu se pot trage concluzii cu privire la felul cum elementele sînt combinate în molecule în materia vie a celulelor, și cu atît mai puțin asupra felului în care acestea sînt legate între ele. De asemenea, din analiza chimică a cenușii vegetale nu putem ști care anume substanțe minerale sînt necesare plantei și care pot lipsi fără ca viața plantei să fie periclitată. Prezența unui element mineral în plantă nu poate fi un indiciu că acesta este esențial. Ne indică numai că acel element este prezent în jurul rădăcinilor. De aceea a trebuit să se recurgă la o altă metodă, care dă posibilitatea să se obțină cunoștințe precise asupra nevoii plantelor în substanțe minerale și a felului în care elementele intră în combinație. Aceasta este *metoda fiziologică*.

b) *Metoda fiziologică*. Constă în folosirea unui substrat nutritiv artificial, a cărui compoziție materială să ne fie cunoscută, fiindcă solul, mediul natural în care plantele își ancorează rădăcinile și din care își iau substanțele minerale nutritive, nu poate fi folosit pentru un asemenea scop; el conține numeroși compuși minerali și organici, din care cauză determinarea exactă

Scanned with OKEN Scanner

a elementelor necesare plantei nu se poate face. De aceea, determinarea exactă a substanțelor minerale reclamate de plantă trebuie să se bazeze pe un substrat a cărei compoziție o putem schimba.

Pentru studiul nutriției minerale a plantelor microscopice (bacterii, ciuperci) se folosesc, de obicei așa-zisele substraturi gelatinoase obținute din gelatină sau din agar-agar, care nu conțin de loc substanțe minerale nutritive, acestea, împreună cu o substanță organică, fiind adăugate de noi. De multe ori se renunță la substratul gelatinos și se face cultura direct într-o soluție nutritivă.

La plantele superioare verzi, pentru studiul nutriției minerale se întrebuințează ca substrat nutritiv nisipul de cuarț, căruia i se adaugă, sub formă de soluție, substanțele minerale necesare plantei. Nisipul de cuarț se folosește pentru a ajuta plantele să-și ancoreze rădăcinile și ca mediu nutritiv dacă i se adaugă substanțele minerale. Folosit ca atare, el nu constituie un mediu nutritiv, pentru că el nu conține substanțe minerale. Dar, ca și în cazul culturilor de microorganisme, de multe ori se renunță la tehnica cultivării plantelor pe nisip cuarțos și se folosește metoda cultivării plantelor direct în soluție nutritivă.

Primele soluții nutritive care s-au imaginat și perfecționat înainte și după anul 1860 aparțin lui I. Sachs și Knop. Acești cercetători au preparat soluțiile nutritive dizolvînd în apă pură substanțele prezente în cenușa plantelor în cantitate mare, dar nu sub formă de oxizi, cum se găsesc la analiza cenușei, ci de săruri. Obiectivul inițial al cercetărilor lui I. Sachs și Knop a fost să descopere numărul de elemente minerale necesare și combinațiile cele mai potrivite care să permită creșterea și dezvoltarea normală a plantelor.

I. Sachs și Knop au găsit că pentru creșterea și dezvoltarea normală a unei plante verzi este suficient ca soluția să cuprindă elementele: azot, fosfor, sulf, potasiu, calciu, magneziu și fier. Knop reușește să precizeze că sodiul și clorul nu sînt necesare creșterii și dezvoltării plantelor, deși aceste elemente se găsesc în toate cenușile la analiză.

Soluțiile nutritive preparate de I. Sachs și Knop sînt indicate în tabelul 6.

Tabelul 6

Compoziția primelor soluții nutritive folosite pentru studiul nutriției minerale a plantelor

Soluția Sachs (1860)		Soluția Knop (1865)	
sarea	g/litru apă	sarea	g/litru apă
KNO_3	1,0	$Ca(NO_3)_2\ 4H_2O$	0,8
$Ca_3(PO_4)_2$	0,5	KNO_3	0,2
$MgSO_4\ 7H_2O$	0,5	KH_2PO_4	0,2
$CaSO_4$	0,5	$MgSO_4\ 7H_2O$	0,2
$FeSO_4$	urme	$FePO_4$	urme

Din aceste soluții, cel mai mult utilizată pentru cultura plantelor superioare verzi este soluția Knop, care cuprinde elementele necesare sub formă de combinații solubile în apă.

Scanned with OKEN Scanner

Ulterior au fost preparate și alte soluții nutritive de către Hellriegel, Crone, D. Prianișnikov și alții, care sînt folosite în unele cercetări.

Sachs și Knop au arătat clar care sînt elementele minerale cerute de plante în cantitate relativ mare. Aceste elemente, așa-numitele *macroelemente,* sînt în număr de șapte, dintre care trei elemente din grupa metaloidelor (azotul, fosforul și sulful) și patru elemente din grupa metalelor (potasiul, calciul, magneziul și fierul). Sărurile care conțin aceste elemente se administrează, de obicei, în concentrații cuprinse între 200 mg și 1 g la litrul de apă. Fierul se administrează în cantități mult mai mici, pentru că este cerut de plante în cantități mult mai mici decît cele șase elemente menționate. Deseori, concentrații mai mici de 1 p/1 milion litri de apă sînt suficiente pentru a asigura creșterea și dezvoltarea normală a plantelor.

Soluțiile nutritive menționate mai sus permit o creștere și dezvoltare bună a plantelor, fie că plantele se cultivă direct în ele (fig. 42), fie pe un substrat de nisip de cuarț, numai dacă plantele se țin în condiții de lumină suficientă și aerisire bună.

Fiindcă asigură plantelor necesarul în substanțe minerale, soluțiile nutritive ale lui Sachs, Knop etc. au primit denumirea de „soluții nutritive complete". Dacă unele dintre elementele minerale necesare nu se introduc în soluție, creșterea și dezvoltarea plantei nu mai este normală. La plantele cultivate pe astfel de soluții, care poartă denumirea de „soluții nutritive incomplete", apar simptome de îmbolnăvire, și în cele din urmă planta moare.

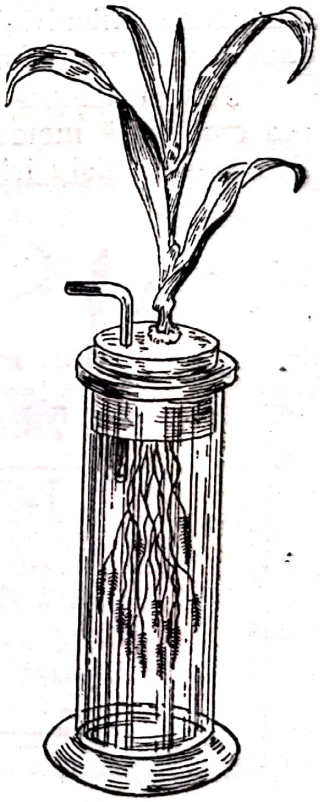


Fig. 42. Plantă de porumb cultivată în soluție minerală nutritivă

Timp de zeci de ani, de la 1860 încoace, cercetătorii care s-au ocupat cu studiul nutriției minerale a plantelor au obținut rezultate bune în experiențele lor, de unde s-a încetățenit și ideea că creșterea și dezvoltarea normală a plantelor verzi poate fi asigurată numai cu cele șapte elemente cuprinse în soluțiile nutritive. Această idee s-a dovedit greșită, pentru că unele cercetări au arătat că, dacă se cultivă plante în soluții nutritive preparate din substanțele menționate, purificate la extrem, creșterea și dezvoltarea plantelor nu mai este normală. Plantele se îmbolnăvesc, și apoi mor.

Aceste constatări au dus la presupunerea că prin purificarea la extrem a substanțelor chimice din care se prepară soluțiile nutritive se îndepărtează cantitățile extrem de mici ale altor elemente: bor, cupru, zinc, mangan, molibden etc., care însoțesc de obicei sărurile chimice.

Numeroasele cercetări care s-au făcut de la această descoperire au demonstrat în mod categoric că, pentru creșterea și dezvoltarea normală a plantelor verzi, sînt necesare, în afară de cele menționate, elementele bor, cupru, mangan, zinc și molibden. Aceste elemente

trebuie obligatoriu adăugate cînd se fac culturi de plante în soluții nutritive ce cuprind substanțe chimice purificate, altfel creșterea și dezvoltarea normală a plantelor nu este asigurată.

Fiindcă elementele bor, cupru, mangan și molibden sînt cerute de plante în cantități extrem de mici, ele au primit denumirea de *microelemente*. Acestei grupe aparțin și altele ce sînt prezente în corpul plantei.

Astăzi se consideră că sînt esențiale pentru creșterea și dezvoltarea normală a plantelor șase macroelemente pe care le absorb plantele din sol (N, P, S, K, Ca și Mg) și șase microelemente pe care, de asemenea, plantele le absorb din sol (Fe, B, Cu, Mn, Zn și Mo).

Cercetările actuale arată că ar fi necesare și elementele aluminiu, sodiu și clor. Ultimele două elemente se găsesc deseori în cantitate relativ mare în plante, totuși ele se consideră ca microelemente (W. B e r g m a n n).

3. Tehnica culturii plantelor în soluții nutritive și măsurile ce trebuie luate pentru reușita culturii

La prima vedere, poate fi socotit că cea mai apropiată cale pentru studiul nutriției minerale ar fi creșterea plantei în condiții de sol și urmărirea creșterii la adăugarea elementului specific. Aceasta este de nerealizat din cauza dificultăților de a determina cantitatea de elemente ce trebuie dată solului într-o formă eficace.

Pentru aceasta, și din alte considerente, s-a ajuns să se precizeze că cea mai bună metodă este cultura plantelor cu rădăcinile în soluția nutritivă sau în nisip irigat cu soluție nutritivă. În astfel de condiții, care sînt controlabile, compoziția soluției nutritive poate fi exact cunoscută și modificată după dorință.

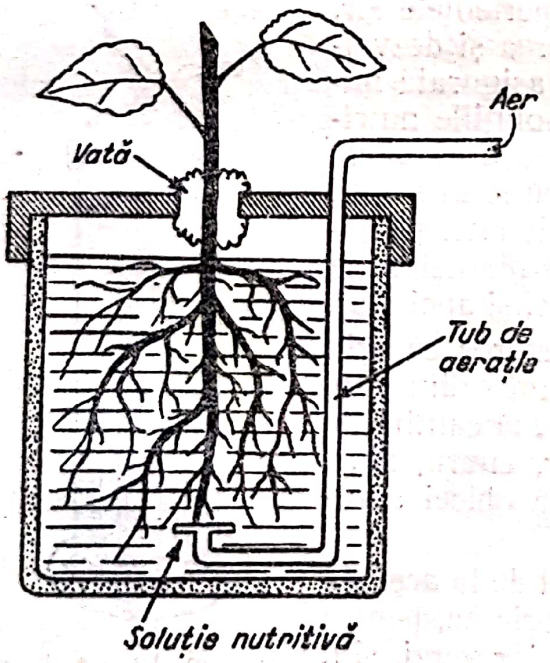


Fig. 43. Metodă modernă pentru creșterea plantei în soluție minerală nutritivă

În cazul cînd plantele se cultivă în soluție apoasă, din cauză că rădăcinile n-au posibilitatea să se ancoreze, ele trebuie susținute de un suport (fig. 43). În tehnica cultivării plantelor în soluție nutritivă apoasă este necesar să fie asigurată aerisirea soluției, fiindcă rădăcinile reclamă oxigen pentru activitatea lor respiratorie. Aceasta se poate realiza prin intermediul unui tub, cum se poate vedea din figura de mai sus.

Fiindcă compoziția soluției nutritive se schimbă datorită absorbției elementelor minerale, este necesar să se reînnoiască periodic soluția sau să se corecteze concentrația soluției nutritive prin adăugarea de elemente.

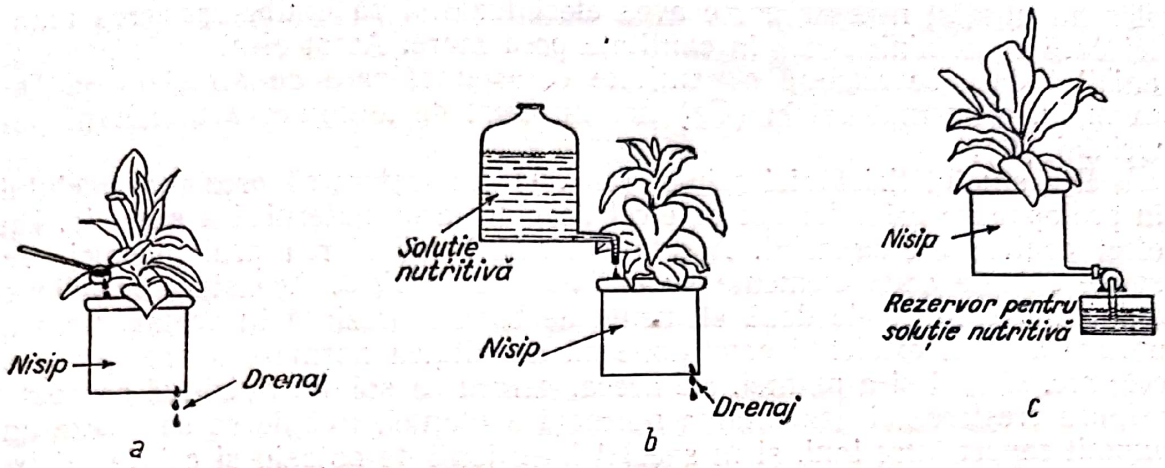


Fig. 44. Principalele tipuri de cultură în nisip:
a — aplicarea soluției nutritive cu mîna; *b* — prin picături de soluție continui; *c* — prin subirigare

În tehnica cultivării plantelor în nisip, aerisirea se realizează folosind vase de drenaj. Adăugarea soluției nutritive la substratul de nisip se face în mai multe moduri: a) se toarnă periodic soluția la suprafața nisipului, o dată sau de mai multe ori pe zi: b) soluția se lasă să curgă continuu sub formă de picături, iar cantitatea de soluție ce picură se reglează astfel ca nisipul să fie mereu saturat cu soluție: c) soluția nutritivă se pompează dintr-un rezervor în sus, în nisip, pînă ce ajunge la suprafața sa (fig. 44). Pompa care asigură pomparea soluției nutritive (subirigarea) este astfel montată ca să asigure continuu cu soluție planta în tot timpul zilei.

Culturile în nisip sînt mai larg folosite decît culturile în soluțiile nutritive apoase, fiindcă sînt mai ușor de montat și de întreținut. Culturile în nisip însă limitează studiul nutriției plantelor cu microelemente, fiindcă cele mai multe nisipuri conțin urmele multor astfel de substanțe. De aceea, pentru studiul acțiunii microelementelor este preferată tehnica cultivării plantelor în soluția nutritivă.

S-ar părea că nu există nici o dificultate în tehnica cultivării plantelor în soluții nutritive. Totuși nu așa stau lucrurile. Normal, soluția nutritivă are o reacție neutră. În timpul vegetației, reacția soluției fixată de noi se schimbă, devenind ori acidă, ori alcalină. În această situație trebuie găsită posibilitatea pentru a impiedica schimbarea *p*H-ului sau să se corecteze *p*H-ul soluției în timpul experienței. Aceasta se realizează fie folosind soluții care să nu modifice *p*H-ul în urma absorbției inegale a ionilor minerali, fie folosind așa-numitele substanțe de tamponare, care au capacitatea de a fixa ionii de hidrogen (H^+) sau de oxidril (OH^-). Pentru corectarea acidității se folosește o bază oarecare, iar pentru corectarea alcalinității un acid, de preferință acidul fosforic (H_3PO_4).

O altă grijă pentru obținerea de plante cu o creștere și dezvoltare normală pe mediile nutritive artificiale este aceea de a folosi *soluții nutritive fiziologice echilibrate.*

Cînd se prepară o soluție nutritivă trebuie, obligatoriu, să se aibă în vedere și efectele reciproce dintre ionii diferitelor elemente de bază. Un

element absolut necesar poate avea efect toxic și să inhibe creșterea plantei dacă se administrează în cantitate prea mare. Acest efect toxic poate fi anihilat dacă se adaugă o cantitate corespunzătoare de alt element. De exemplu, elementul calciu (Ca) are un efect de anihilare a toxicității potasiului (K).

Din studiul fiziologiei celulei (cap. I) cunoaștem că prezența calciului în protoplasma celulelor are ca efect deshidratarea puternică a acesteia. Un efect contrar are potasiul. Acesta determină hidratarea protoplasmei. Se spune că cele două elemente au *acțiune antagonistă*. Această contradicție antagonistă între cele două elemente de bază reprezintă în același timp o unitate a cărei existență condiționează activitatea normală a protoplasmei celulare, și deci și a plantei. De aceea, pentru ca soluția nutritivă să poată asigura creșterea și dezvoltarea normală a plantei, trebuie să se creeze un anumit raport între ioni, și în special între ionii de potasiu și cei de calciu, din motivele arătate. Natural că atunci cînd se prepară o soluție nutritivă, trebuie să se țină seama și de acțiunea antagonistă dintre ionul de hidrogen (H^+) și alți ioni. Ionul de hidrogen, în cantități de cîteva ori mai mici decît alt ion, poate anihila toxicitatea ionului respectiv.

Cînd se prepară soluția nutritivă mai este necesar să se țină seama și de valența cationilor. În genere, cu cît valența unui cation este mai mare, cu atît va trebui scăzută concentrația cationului folosit.

O altă grijă pentru reușita unei culturi este în legătură cu concentrația soluției nutritive. Ne este cunoscut faptul că dintr-o soluție nutritivă concentrată, din cauza valorii osmotice mari a acesteia, apa este absorbită cu multă greutate. Ca urmare, creșterea și dezvoltarea plantei nu va fi normală.

Soluțiile nutritive cu concentrație mare au influență negativă asupra tinerelor plante. Cu înaintarea în vîrstă a plantelor, acțiunea vătămătoare a soluțiilor concentrate se micșorează sau poate să dispară, transformîndu-se în una pozitivă. Pe de altă parte, cantitatea de substanțe minerale dintr-o soluție nu trebuie să fie nici prea mică, fiindcă este epuizată repede și în momentul acela încetează creșterea și dezvoltarea normală a plantei.

4. Absorbția substanțelor minerale de către plante

a) *Relația dintre absorbția substanțelor minerale și absorbția apei.* Substanțele minerale nutritive din soluția artificială (din mediul acvatic sau din soluția solului) sînt absorbite de către rădăcinile plantelor (la plantele de apă prin toată suprafața corpului) numai dacă sînt dizolvate în apă. Aceasta este condiția esențială pentru realizarea absorbției. Asta însă nu ne îndreptățește să considerăm că absorbția substanțelor minerale se face o dată că absorbția apei și că transpirația ar avea un rol direct în acest proces.

S-a cercetat mult efectul transpirației asupra absorbției substanțelor minerale nutritive. Unii cercetători au găsit o corelație perfectă între cantitatea de apă transpirată și absorbția elementelor minerale, însă cînd s-a folosit un inhibitor al respirației, s-a constatat că această corelație nu există.

Scanned with OKEN Scanner

Alte cercetări cu elementul rubidiu arată că la niveluri ridicate de umiditate în sol are loc o absorbție sporită a acestui element. În experiențele recente cu bromul radioactiv s-a demonstrat că cea mai mare cantitate de ioni de brom este absorbită în timpul transpirației scăzute și că absorbția nu este afectată nici de condițiile de întuneric și nici de cele de lumină.

Nu se poate nega influența transpirației în absorbția elementelor minerale nutritive, dar ea nu este directă, ci indirectă.

Din cele arătate rezultă cu toată claritatea că între fenomenul absorbției apei și al substanțelor minerale este o interdependență, dar trebuie ținut seama că fără intermediul apei, absorbția elementelor minerale nu poate avea loc.

În sprijinul părerii că absorbția elementelor minerale are loc independent de absorbția apei vin cercetările mai vechi ale lui Stefan Popescu și cercetările mai noi cu fosforul radioactiv. Stefan Popescu (1926) arăta că ionii minerali se absorb mai ales la nivelul celulelor zonei de creștere prin întinderea celulelor (zona netedă), zona unde absorbția apei este neînsemnată.

Cercetările recente cu fosforul radioactiv arată că ionii de P^{32} sînt absorbiți în particular de perii radiculari, unde se absoarbe cel mai intens apa, și de celulele zonei netede, unde absorbția apei este slabă. Mici cantități de P^{32} pătrund la nivelul meristemului.

b) *Absorbția elementelor minerale de către rădăcinile plantelor, un proces selectiv și activ*. Perii radiculari și celulele zonei de creștere, prin întinderea celulelor, absorb elementele minerale în mod selectiv. Elementele sînt absorbite sub formă de ioni, adică de particule încărcate cu electricitate. Față de ionii minerali, celulele absorbante ale rădăcinii se comportă diferit față de diferiți ioni. Ele lasă să pătrundă în interiorul lor cu ușurință ionii de NH_4^+, de NO_3^- și de CO_3^{--}, HCO_3^-, de K^+, Na^+, mai greu pe cei de SO_4^{--}, de Ca^{++}, Mg^{++}, PO_4^{---} etc.

Rădăcinile plantelor sînt capabile să facă deosebire între diferiții ioni și să acumuleze cantități mai mari de ioni de potasiu (K^+) decît de ioni de magneziu (Mg^{++}) și de calciu (Ca^{++}).

Capacitatea plantelor de a acumula selectiv ioni este arătată în tabelul 7.

Tabelul 7

Capacitatea plantelor de a selecționa și de a face deosebire între 4 ioni prezenți în soluția nutritivă în concentrații echivalente
(după Colander, 1941)

Specia de plantă	Procentul total de cationi în plantă				Concentrația totală a cationului în Milliechiv./kg materie uscată
	Na	K	Mg	Ca	
Hrișcă	0,9	39	27	33	3 235
Floarea-soarelui	2,3	54	17	27	3 020
Porumb	2,9	70	16	11	2 420
Cartof	4,1	44	25	27	4 290
Lobodă de grădină	19,7	39	31	10	4 790
Soluție nutritivă	25	25	25	25	—

Datele cuprinse în tabel, şi care reprezintă rezultatul analizei plantelor întregi, ne arată că plantele de cultură menţionate acumulează potasiul în cantitate mai mare decît ceilalţi ioni.

Plantele au capacitatea de a face deosebire nu numai între diferiţii ioni cu sarcină similară, dar chiar de a absorbi în cantităţi inegale cationii şi anionii unei sări, după cum se poate vedea din tabelul 8.

Tabelul 8

Absorbţia inegală a cationilor şi anionilor de către rădăcinile de grîu
(după H. Lundegärdh, 1949)

Sarea din soluţie	Cation	Anion	Raportul de acumulare cation/anion
NaCl	Na^+ (slab absorbit)	Cl^- (rapid absorbit)	0,25
KCl	K^+ (rapid absorbit)	Cl^- (rapid absorbit)	1,37
CsCl	Cs^+ (foarte rapid absorbit)	Cl^- (rapid absorbit)	7,75

De faptul că elementele minerale sînt absorbite inegal ne dăm seama dacă analizăm, după o perioadă de timp de la începerea experienţei, mediul de cultură în care stau rădăcinile. La analiză se constată schimbarea compoziţiei chimice a soluţiei nutritive (fig. 45).

O consecinţă imediată a schimbării compoziţiei chimice a mediului nutritiv este schimbarea reacţiei, care poate deveni acidă sau alcalină. De exemplu, dacă soluţia nutritivă conţine ca sare nutritivă sulfatul de amoniu, alături de celelalte săruri, soluţia nutritivă se acidifiază puternic din cauză că rădăcinile absorb mai repede şi mai energic din soluţie ionii de

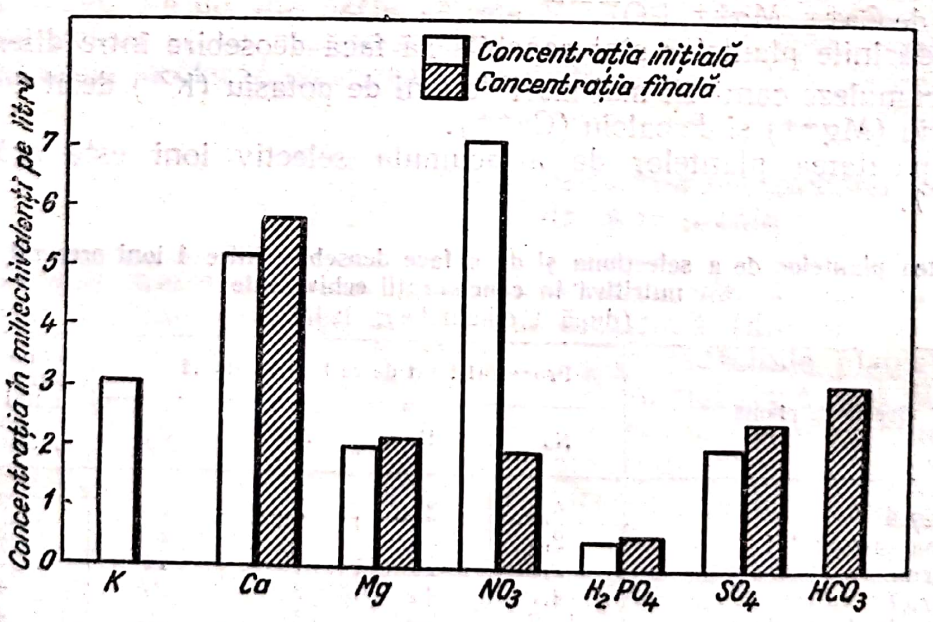


Fig. 45. Schimbarea concentraţiei în soluţia nutritivă ca urmare a absorbţiei apei şi ionilor de către plantele de orz (după D. R. Hoagland)

HN_4^+ decît ionii de SO_4^+. Aceștia din urmă, acumulîndu-se în soluția nutritivă, îi măresc aciditatea. Un caz contrar se constată în cazul cînd soluția nutritivă conține azotat de calciu. Reacția soluției devine alcalină, pentru ca în jurul rădăcinilor se acumulează ioni de Ca^{++}, care sînt mai slab și mai puțin energic absorbiți decît ionii de azotat (NO_3^-). Aciditatea și alcalinitatea prea mari din mediul nutritiv sînt dăunătoare rădăcinilor plantelor.

Cele arătate mai sus denotă cu toată claritatea că procesul absorbției elementelor minerale nu este un proces pasiv, cum susțineau concepțiile mai vechi, ci un proces activ, o funcție vitală.

5. Mecanismul absorbției substanțelor minerale din sol

Procesul absorbției substanțelor minerale din sol poate fi împărțit în două faze: a) deplasarea elementelor nutritive din sol la suprafața zonelor de absorbție a rădăcinilor; b) pătrunderea elementelor nutritive în interiorul rădăcinii.

a) *Deplasarea elementelor nutritive din sol la suprafața rădăcinii.* Cu privire la această problemă s-au făcut puține cercetări. Se știe că în sol, sărurile se află sub formă disociată de ioni, dintre care unii sînt liberi, alții sînt legați de particulele de sol.

Se consideră că ionii liberi se pot deplasa spre rădăcinile plantei cu curentul masei de apă creat de absorbția apei de către rădăcini și prin difuziune.

În ce privește ionii legați de particulele de sol, se afirmă de către Jenny și Overstreet că ei se pot deplasa direct de la particula de sol pe suprafața rădăcinii dacă în sol există o stare de saturare a coloizilor cu ioni minerali.

Teoria deplasării ionilor liberi prin curentul de apă nu presupune că ionii sînt luați de plantă prin apa pe care o absoarbe. Apa absorbită de plantă produce acest curent al masei de apă, și o dată cu el se deplasează și ionii liberi la suprafața rădăcinii. În anumite condiții, aprovizionarea rădăcinilor cu ioni prin curentul masei de apă este factorul dominant. Cînd pe această cale sînt aduși în jurul rădăcinilor mai mulți ioni decît sînt absorbiți, la suprafața de contact se acumulează ioni.

În alte condiții, și anume cînd prin curentul masei de apă se transportă la suprafața rădăcinii mai puțini ioni decît se absorb, atunci cantități suplimentare de ioni ajung la rădăcini prin difuziune. În acest caz, difuziunea ionică devine factorul determinant de aprovizionare a rădăcinilor cu ioni.

Se admite că planta este aprovizionată prin curentul masei de apă îndeosebi cu ioni bivalenți (de Ca^{++}, Mg^{++} etc.), care se mișcă mai încet, iar prin difuziune cu ioni monovalenți (de NO_3^-, K^+), care se mișcă mai repede. Adesea, prin curentul masei de apă se aduce mai mult calciu și mai puțin potasiu decît absoarbe rădăcina. În aceste condiții, crescînd concentrația calciului în jurul rădăcinii, se reduce conținutul în fosfat al soluției de sol din jurul rădăcinii. În mod similar acționează aluminiul solubil din solurile acide.

b) *Pătrunderea ionilor dinafară în interiorul rădăcinii.* În cercetarea mecanismului pătrunderii ionilor dinafară în interiorul rădăcinii s-a făcut un efort considerabil. S-a putut face dovadă că rădăcinile absorb elementele minerale de pe toată lungimea lor, din vîrf și pînă la punctul unde ele devin suberificate, dar cu intensități diferite. Absorbția cea mai intensă a elementelor minerale are loc prin perii radiculari (zonă activă în absorbția apei) și celulele zonei de creștere prin întindere a celulelor (zona netedă).

O rădăcină absoarbe elementele minerale sub formă de ioni din imediata apropiere a suprafeței sale. În locul ionilor absorbiți vin alții prin curentul masei de apă sau prin difuziune pentru a-i înlocui. Între suprafața rădăcinii și solul înconjurător se stabilește o concentrație gradată de ioni, care, la rîndul ei, depinde de mulți factori: de coeficientul de absorbție a ionilor pe unitatea de suprafață a rădăcinii, de ritmul de mișcare a ionilor prin curentul masei de apă care circulă spre rădăcină etc.

Astăzi se consideră, pe baza cercetărilor lui E. I. Ratner (1950), V. P. Petersburgski (1954) și a altora, că procesul absorbției elementelor minerale nutritive cuprinde două faze: 1) *adsorbția ionilor la suprafața protoplasmei celulelor absorbante;* 2) *pătrunderea ionilor în interiorul citoplasmei.*

Fenomenul pătrunderii ionilor minerali în celulele rădăcinii se face pe bază de schimb de ioni. Simultan cu pătrunderea ionilor (cationilor și anionilor) în citoplasmă, are loc un proces invers: se elimină din rădăcini în mediu alți ioni. De obicei, în locul cationilor intrați (de K, Ca, Mg) se elimină cationi de hidrogen (H), iar în locul anionilor pătrunși — anioni de bicarbonat (HCO_3^-).

Ionii de H_+ și de HCO_3^- provin din procesul respirației și constituie fondul de schimb permanent al rădăcinii. Numai în cazul cînd acest fond de schimb lipsește pot fi eliminați de către rădăcini, în locul ionilor intrați din mediu, alți ioni care au pătruns mai înainte și care se găsesc în stare liberă în citoplasma celulelor.

Se consideră că porțiuni de citoplasmă au spații periferice în care are loc pătrunderea ionilor din soluția externă în celule și invers. Ionii din spațiile de la periferia celulei sînt fiecare schimbabili prin ioni din interiorul celulei, sau ionii se pot combina cu transportori. Ionii combinați cu transportori sînt în cele din urmă desorbiți în vacuolele celulelor, de unde ei nu mai pot fi schimbați și nici să se miște în alte celule. Ei pot rămîne în vacuole pînă la moartea celulei. Această teorie presupune că membrana vacuolară este impermeabilă pentru ionii liberi, dar ușor permeabilă pentru transportorii de ioni.

Capacitatea de schimb a fost dovedită la multe rădăcini de plante prin cercetările lui Mc. George (1932), și apoi de Stewart (1937). Alte cercetări, ale lui Elgabaly și Wicklander (1949), cu plantele de lupin și de mazăre au arătat că rădăcinile acestor plante fixează mai mulți cationi bivalenți (de Ca^{++}, Mg^{++}) și mai puțini cationi monovalenți (de NH_4^+, K^+, de Na^+) decît rădăcinile de orz care au o capacitate de schimb mai scăzută.

Scanned with OKEN Scanner

Și alte date experimentale arată că în genere, în condiții identice, rădăcinile diferitelor plante adsorb mai mulți cationi bivalenți decît monovalenți. De asemenea, s-a mai stabilit că capacitatea de adsorbție a cationilor variază de-a lungul rădăcinii la una și aceeași planta. Ea este mai ridicată la celulele din zona netedă și zona perilor radiculari decît în zona aspră a rădăcinii.

In ce privește anionii, se consideră că ei pătrund în rădăcină pe baza schimbului de anioni de HCO_3^- și OH^-, rezultați din metabolismul zaharurilor, acizilor organici etc.

Se apreciază că absorbția anionilor din sol este mai dificilă decît a cationilor, datorită faptului că anionii (exceptînd cei de NO_3^-, NO_2^- și Cl^+) sînt puternic reținuți de complexul coloidal al particulelor de sol care aderă pe suprafața perilor radiculari. Procesul de reținere a anionilor este în legătură cu natura solului, cu prezența în sol a $Fe(OH)_3$ și $Al(OH)_3$.

Pătrunderea cationilor și anionilor se face probabil simultan. Pentru aceasta pledează faptul că protoplasma, la suprafață ca și în interiorul ei, posedă diferite grupări funcționale cu zone ce poartă sarcini electrice negative și pozitive de diferite valori, capabile să creeze reacții reciproce cu ionii minerali. Numărul sarcinilor electrice pozitive sau negative este în funcție de *p*H. La un *p*H sub punctul izoelectric, proteinele protoplasmei disociază anioni, iar deasupra punctului izoelectric cationi.

6. Intensitatea absorbției ionilor minerali la diferite plante de cultură

Intensitatea cu care sînt absorbiți diferiții ioni minerali de bază (ionii de NO_3^-, de SO_4^{--}, de K^+, de Ca^{++} și Mg^{++}) poate varia o dată cu fazele de vegetație. Intr-o fază timpurie, plantele absorb mai intens ionii, în cantități mai mari, avînd mai multă nevoie decît într-o fază mai tîrzie. Aceasta poate fi rațiunea pentru care apare insuficiența fosforului și a altor elemente într-o fază timpurie și dispare într-o fază ulterioară de creștere.

Această variație cu privire la absorbția ionilor necesari plantelor este în legătură cu schimbarea activității metabolice a plantelor în cursul vegetației. La majoritatea plantelor anuale, ionii minerali sînt absorbiți cu intensitatea cea mai mare pînă la înflorire. La plantele bienale apare de obicei în cea de-a doua perioadă de vegetație (în primul an), iar la plantele perene, absorbția ionilor se poate menține ridicată și după fructificare, pînă spre toamnă.

Intre plante există diferențe în ce privește capacitatea de absorbție a elementelor nutritive, și aceasta se poate datora particularităților de specie, vîrstei și factorilor ereditari.

N. T. Deleanu, care s-a ocupat de această problemă arată, de pildă, că în plantele de ovăz, de grîu, de tutun azotul și potasiul se absorb în proporție crescîndă, începînd de la germinația seminței și pînă în momentul înfloririi, iar după aceasta începe să scadă.

Scanned with OKEN Scanner

Cercetările mai recente la grîul de toamnă arată că elementele fosfor și potasiu sînt absorbite în cantitatea cea mai mare la înflorire iar azotul la începutul coacerii. Datele obținute se pot vedea din tabelul 9.

Tabelul 9

Mersul asimilării substanțelor nutritive la grîul de toamnă, în % față de cantitatea totală (după M. S. Savițki, 1954)

Faza de vegetație	N	P_2O_5	K
Înfrățire	49,6	31,2	45,6
Începutul înspicării	70,0	64,0	72,1
Sfîrșitul înspicării	80,5	83,5	98,9
Înflorire	95,5	97,7	100,0
Începutul coacerii	100,0	96,5	97,3
Maturitate completă	95,2	100,0	95,6

La cerealele de primavară (grîu, orz), elementele de bază (K, N) se absorb mai intens în prima fază a vegetației, atingînd un maxim la înflorire. După înflorire, absorbția celor două elemente scade din cauză că sistemul radicular, dezorganizîndu-se, nu mai absoarbe decît foarte slab. Absorbția fosforului are loc în mod mai uniform, crescînd încet de la germinație și pînă la înflorire, după care se menține la o valoare aproape constantă, cu scădere ușoară la sfîrșitul vegetației.

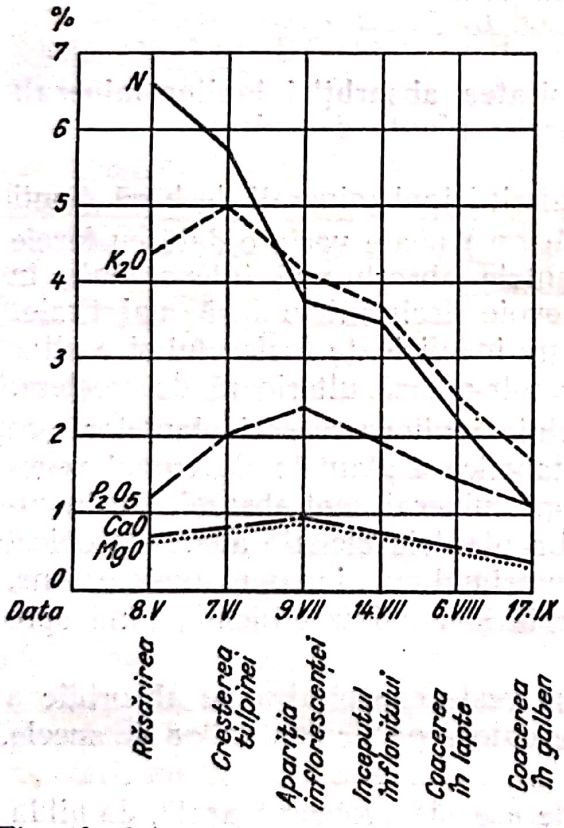


Fig. 46. Intensitatea absorbției N, P_2O_5, K_2O, CaO, MgO în cursul vegetației de către soiul de porumb Românesc de Studina (după I. F. Radu)

La ovăz, potasiul (K) se absoarbe în măsură mai mare în prima parte a perioadei de vegetație, pe cînd magneziul (Mg) se absoarbe uniform de-a lungul perioadei de vegetație (Arenz).

La porumb, cercetările lui I. F. Radu arată că absorbția cea mai intensă a N, P și K are loc treptat, atingînd intensitatea maximă la înflorire. Elementele calciu și magneziu se absorb cu intensitate constantă în tot cursul vegetației (fig. 46).

La cartofi, absorbția cea mai intensă a elementelor N, P și K are loc la începutul înfloritului și în faza de formare a tuberculelor (aproximativ în a 58-a zi de la răsărire).

La mazăre, la tomate (fig. 47), la dovleac, castraveți — plante cu perioadă lungă de înflorire — ritmul de absorbție a elementelor minerale de bază este relativ constant în tot cursul

perioadei de vegetație. Această particularitate e în legătură cu decurgerea simultană a creșterii vegetative și formarea florilor și fructelor pînă la sfîrșitul vegetației.

La sfeclă, morcovi, varză etc. absorbția elementelor de bază crește aproape în mod uniform în tot timpul vegetației, ritmul absorbției este însă mai mare la potasiu (K) și la fosfor (P), și mai puțin la azot.

La ceapă se absoarbe intens și progresiv azotul și potasiul în tot timpul vegetației, pe cînd absorbția fosforului scade.

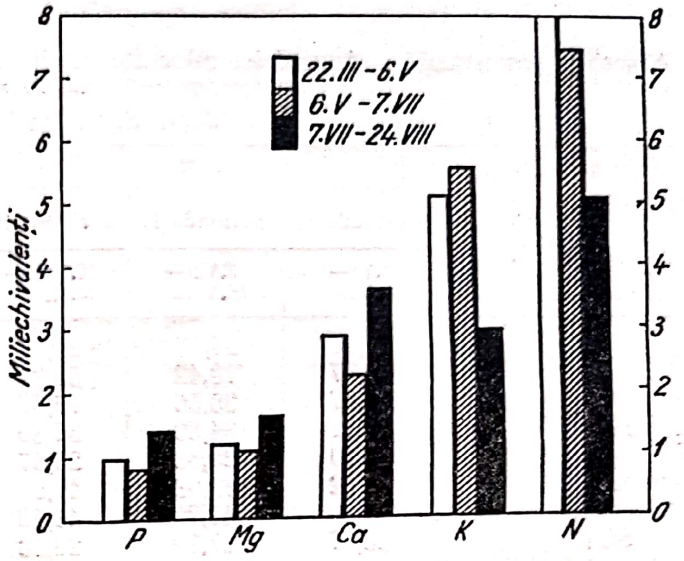


Fig. 47. Absorbția zilnică mijlocie a elementelor nutritive de către tomate în diferite faze de creștere din o soluție aerată (după D. R. Hoagland)

La cînepă, absorbția azotului și fosforului devine intensă din momentul formării florilor mascule și femele, ținînd pînă la înfloritul complet.

La căpșuni, experiențele arată că se absorb la începutul vegetației ionii de azot (NO_3^-) și de magneziu (Mg^{++}), iar ionii de calciu (Ca^{++}) la începutul și sfîrșitul vegetației.

La plantele lemnoase, ritmul absorbției este mai deosebit decît la plantele ierboase anuale și bienale. Astfel, la vița de vie — cu o perioadă lungă de vegetație — absorbția elementelor N și P are loc cam cu aceeași intensitate în tot timpul vegetației, însă potasiul se absoarbe mai intens către mijlocul perioadei de vegetație, cînd consumul este maxim, apoi absorbția scade. Elementul calciu este absorbit în prima parte a vegetației în cantitate mică, pentru ca în cea de-a doua perioadă de vegetație să fie absorbit în cantitate mare.

La pomii fructiferi, absorbția cea mai intensă a N, P și K are loc în perioada creșterii vegetative intense, apoi după fructificare, cînd ele se acumulează în cantitate mare în tulpini, ramuri, rădăcini, ca rezervă care va fi folosită în anul următor la desfrunzire și înflorire. Ritmul absorbției elementelor nutritive în cursul vegetației la plantele lemnoase poate fi apreciat după datele cuprinse în tabelul 10.

Cercetările cu privire la intensitatea absorbției diferitelor elemente minerale necesare plantelor sînt la început. Ele trebuie extinse la toate plantele de cultură și efectuate în cele mai variate condiții de viață, întrucît numai pe baza unor astfel de studii vor putea fi elaborate cele mai juste sisteme de îngrășare, care să ridice productivitatea plantelor.

In legătură cu ritmul consumului elementelor minerale nutritive, este important să cunoaștem nu numai „perioada consumului maxim", adică cînd elementele minerale sînt absorbite în cantitatea cea mai mare și care,

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 10

Absorbția procentuală a elementelor minerale nutritive la măr, din cantitatea totală absorbită în timpul perioadei de vegetație

(după S. S. Rubin)

Substanța nutritivă	1932			1933		
	perioada I	perioada II	perioada III	perioada I	perioada II	perioada III
	5.VI—5.VII	5.VII—10.VIII	10.VIII—15.IX	1.VII—5.VII	5.VII—10.VIII	10.VIII—15.IX
K	37,77	24,93	37,30	—	—	—
Ca	29,77	13,42	56,81	21,50	17,10	61,40
Mg	48,67	35,56	15,87	67,85	25,34	6,81
Fe	30,31	34,89	34,80	38,83	46,76	13,41
NH_4	52,10	22,33	25,57	43,02	24,92	32,06
NO_3	39,32	19,68	41,00	42,27	16,80	40,93
P_2O_5	16,80	41,70	41,50	24,51	34,39	41,10
SO_4	33,77	37,70	28,53	59,37	24,19	16,44

în genere, corespunde perioadei de eficiență maximă, ci și care sînt „perioadele critice" în viața plantelor, în legătură cu cerințele lor față de elementele nutritive.

Se înțelege prin perioada critică acel răstimp cînd lipsa în elemente nutritive, o insuficiență pronunțată, o disproporție în raportul sau excesul lor exercită cea mai puternică acțiune negativă asupra creșterii și dezvoltării plantelor.

Asupra perioadelor critice în nutriția minerală a plantelor s-au făcut foarte puține cercetări, însă datele existente sînt foarte valoroase, căci dau indicații prețioase în vederea aplicării îngrășămintelor.

Cercetările lui Avdonin arată că la cereale, perioadele critice survin de obicei în primele faze ale vegetației, ele corespunzînd cu apariția frunzei a 3-a, cu înfrățirea, intrarea în burduf și înspicarea.

Cercetările lui Gh. Bîlteanu (1961) arată că la porumb, perioada critică pentru nutriția cu azot apare în faza inițială a creșterii, iar pentru fosfor, la apariția celei de-a 7-a frunză. La floarea-soarelui, perioada critică pentru nutriția cu fosfor apare în perioada creșterii inițiale a florii.

La cartof, perioada critică pentru nutriția minerală survine la apariția celei de-a 2-a pînă la a 4-a pereche de frunze și la formarea inflorescenței, iar la cînepă, la apariția celei de-a 2-a perechi de frunze și la formarea inflorescenței.

7. Factorii care influențează absorbția substanțelor minerale

Intensitatea intrării ionilor minerali în rădăcina plantelor stă sub dependența atît a factorilor interni, cît și externi. Dintre factorii interni care influențează intrarea ionilor în rădăcină menționăm activitatea metabolică

internă și aerisirea celulară, iar dintre cei externi, concentrația soluției nutritive, antagonismul ionilor din soluția nutritivă, *p*H-ul și temperatura.

a) *Activitatea metabolică internă.* Intrarea ionilor minerali este în relație mai mult cu intensitatea respirației ; or aceasta depinde, la rîndul ei, de aprovizionarea cu oxigen, ceea ce se poate vedea deosebit de clar din tabelul 11.

Tabelul 11

Influența cantității de oxigen asupra absorbției potasiului și bromului de către felii de cartof

Cantitatea de O_2 din amestecul de gaze folosit la suflare, în %	K și Br absorbit în 70 de ore dintr-o soluție de KBr 0,005 N, în milechivalenți		*p*H	CO_2 eliminat prin respirație, în mg
	K	Br		
21 (aer)	1,3	1,4	5,9	706
3,8	0,5	0,7	5,9	301

Din tabel se vede că la o concentrație de 21% O_2, absorbția ionilor de K^+ și de Br^{--} este mai intensă decît la concentrația de 3,8% O_2. Efectul cantității de O_2 asupra absorbției ionilor, la care se adaugă și efectul temperaturii, se poate vedea din figura 48.

Rolul respirației în procesul intrării ionilor de K și de Br a fost dovedit de către R. D. Hoagland și Broyer chiar în experiențele cu rădăcini de orz, iar pentru alți ioni (cei de NO_3^- și PO_4^{---}) de către N. G. Potapov și N. Stankov (1934) în experiențele cu porumb.

Legătura dintre intensitatea respirației și absorbția ionilor se explică, pe de o parte, prin produșii care rezultă din oxidarea zaharurilor, acizilor grași etc., și anume a ionilor de H și HCO_3^- care substituie ionii absorbiți din mediul exterior, iar pe de altă parte, și prin intensitatea cu care se sintetizează proteinele care sînt acceptoare de ioni. S-a putut face dovada de către V. I. Palladin (1899) că dacă condițiile de aerisire ale plantei se înrăutățesc, procesul sintezei proteinelor slăbește foarte mult. Ca urmare și absorbția ionilor va slăbi.

b) *Influența concentrației soluției externe.* Absorbția ionilor minerali are loc în bune condiții dacă soluția nutritivă are o concentrație în săruri apropiată de cea a soluției solului (de 1—1,5‰). O concentrație mai mare a soluției nutritive este dăunătoare, în special la începutul

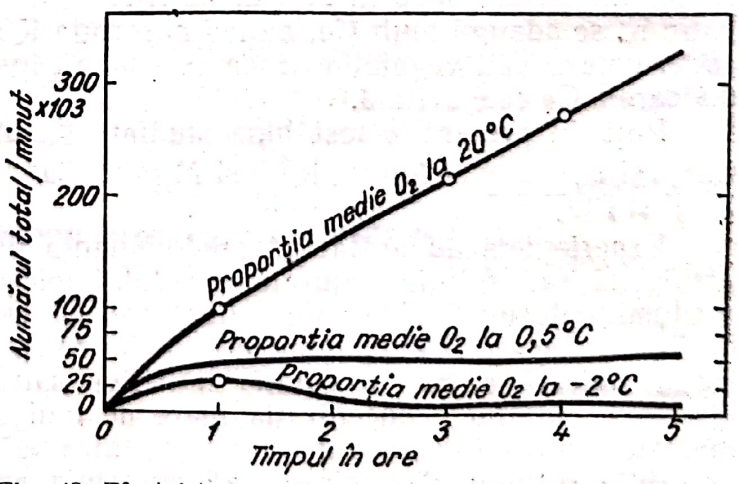


Fig. 48. Efectul temperaturii și absorbției oxigenului asupra absorbției potasiului radioactiv (K^{42}) (după J. Ferry, S. Henry și D. Ward)

vegetației. Soluția nutritivă, avînd o concentrație mare în săruri, dezvoltă o presiune osmotică mare, care îngreuiază absorbția apei, și indirect și a ionilor. O dată cu înaintarea plantelor în vîrstă se poate mări concentrația soluției chiar pînă la 2,5‰, fără ca să dăuneze.

c) *Influența acțiunii interionice.* Cercetările făcute la începutul secolului al XX-lea și altele mai recente arată că ionii monovalenți pătrund în celulele rădăcinii plantelor (perii absorbanți, celulele zonei de întindere a rădăcinii) mai repede decît cei bivalenți și că aceasta este în legătură, pe de o parte, cu permeabilitatea protoplasmei celulare, iar pe de altă parte, cu antagonismul ionilor.

Experiențele arată, de pildă, că un cation, în cantitate mai mare decît alți cationi, poate să împiedice absorbția altui cation în cantitate mai mică, sau de a-și exercita rolul lui în funcțiile protoplasmei. De acest fenomen ne dăm seama dacă cultivăm o plantă cu rădăcină într-o soluție a unei singure sări, de K, Na, Mg, Ca. Se constată că planta vegetează mai slab decît în apă distilată și moare mai devreme. Dacă în soluția unei singure sări, de exemplu de Mg, se adaugă o sare de Ca (o parte Ca la 2 părți Mg), acțiunea toxică a sării de Mg încetează. De asemenea și soluția unei sări de K nu mai e toxică dacă i se adaugă ceva sare de Ca, în cantitate mică, chiar de 1‰. Ca urmare, planta va vegeta bine.

Acțiunea antagonistă a ionilor este deosebit de evidentă între ionii cu valențe diferite, și în special între cationi. Între cationii cu aceeași valență, efectul interionic este mai puțin evident. Pentru creșterea și dezvoltarea normală a plantei, cationii trebuie să se găsească în mediul nutritiv într-o proporție favorabilă sau optimă. Această proporție optimă variază, bineînțeles, de la plantă la plantă, precum și în funcție de alți factori.

În legătură cu acțiunea antagonistă a ionilor s-au formulat în agronomie două legi: 1) legea raportului între Ca și Mg, după care plantele vegetează bine cînd între ionii de Ca^{++} și de Mg^{++} este un anumit raport; pentru cereale acest raport este de 1 : 1 pînă la 2 : 1, iar pentru leguminoase de 3 : 1; 2) legea raportului între Ca și K (Ehrenberg), care a fost formulată astfel: dacă în mediul nutritiv al unei plante, în care se găsește puțin K, se adaugă mult Ca, atunci absorbția K este împiedicată, influențînd astfel nefavorabil vegetația. Dacă se adaugă însă și K mult, acțiunea vătămătoare a Ca este evitată.

Pînă în prezent a fost bine studiat efectul interionic pentru ionii de Ca^{++} și K, Ca^{++} și Mg^{++}, K^{++} și Mg^{++}, Ca^{++} și B^{---}, Fe^{+++} și Mn^{++}, NO_3^- și PO_4^{---}, Fe^{+++} și PO_4^{---}.

Experiențele au arătat că predominanța unui ion în soluția nutritivă artificială sau soluția naturală a solului micșorează absorbția altuia, că predominanța unuia determină simptome. De exemplu, o concentrație mare de Fe^{+++} cauzează simptomul deficienței Mn^{++} (vezi simptome). Concentrația ridicată a Mg în soluția nutritivă sau soluția solului micșorează absorbția sulfului; concentrația mare de ioni de PO_4 în soluția nutritivă mărește absorbția manganului; concentrația mare de potasiu mărește absorbția sulfului, dar micșorează absorbția azotului, calciului și magneziului. Acțiunea concentrației mari de K asupra absorbției Ca și Mg se poate vedea în tabelul 12.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 12

Acțiunea de frînare a ionului de K^+ asupra absorbției ionilor de Ca^{++} și Mg^{++} de către rădăcinile de porumb
(după G. Barbier, 1936)

K în mediul nutritiv (în miliechivalenți la litrul de soluție)		0,05	0,25	0,5	1,0
1) Compoziția plantei uscate (miliechivalenți la 100 g), după o lună de la răsărire	K	25,50	52,50	98,0	131,0
	Ca	101 50	70,00	63,5	56,0
	Mg	66,50	33,50	30,0	22,0
2) Compoziția plantei uscate (miliechivalenți la 100 g), la maturitate	K	6,00	10,00	21,5	39,0
	Ca	55,00	39,00	28,0	19,0
	Mg	30,00	15,00	13,0	9,6

d) *Influența pH-ului.* Un alt factor important, care influențează absorbția elementelor minerale nutritive, este *p*H-ul (gradul de aciditate sau de alcalinitate) a mediului nutritiv.

Față de reacția mediului, plantele sînt adaptate. Marea majoritate a plantelor de cultură cresc bine dacă reacția mediului este neutră sau slab acidă, ori slab alcalină. Reacția prea acidă (*p*H=3) sau prea alcalină (*p*H=9—10) este vătămătoare. Unele cercetări recente arată că în solurile puternic acide, excesul ionilor de H^+ nu numai că împiedică absorbția altor ioni (de exemplu cei de PO_4^{---} la tomate etc.), dar chiar determină procesul invers, de eliminare de către rădăcini a cationilor (de calciu). În solurile cu reacție puternic alcalină, creșterea plantelor este stingherită de faptul că rădăcinile nu absorb cationii de Fe și alte microelemente (Mn, B), datorită faptului că se găsesc în combinații insolubile.

Cercetări asupra influenței reacției mediului nutritiv asupra absorbției ionilor s-au făcut la multe plante de cultură, însă deosebit de interesante sînt cele efectuate de agrochimistul D. N. Prianișnikov (1931). Rezultatele obținute în aceste cercetări se pot vedea în tabelul 13.

Tabelul 13

Influența reacției mediului asupra recoltei de sfeclă de zahăr

Sursa de azot	*p*H-ul			Recolta, în g
	propus a fi realizat	soluției introduse	soluției evacuate	
$(NH_4)_2SO_4$	5,5	5,95	5,0	13,3
$NaNO_3$	5,5	5,40	5,95	39,8
$(NH_4)_2SO_4$	7,0	7,10	6,5	33,2
$NaNO_3$	7,0	—	7,2	13,2

Scanned with OKEN Scanner

Din tabel se poate vedea că sfecla de zahăr a valorificat mai bine forma amoniacală (NH_4^+) în condițiile unei reacții neutre ($pH=7$), iar forma nitrică (NO_3^-), în condițiile unei reacții acide ($pH=5,5$). Cercetări făcute cu alte plante de cultură (salată, tomate) scot în evidență faptul că la valori scăzute ale *p*H-ului are loc o înhibare puternică a absorbției ionilor de Ca (la salată) și de fosfat (la tomate).

Și la concentrații scăzute ale ionilor de hidrogen, absorbția calciului de către rădăcini este considerabil stingherită. De aceea, cînd se cresc plante în medii de cultură, este esențial să se determine și să se corecteze *p*H-ul soluției.

e) *Influența temperaturii.* Experiențele arată că temepratura solului influențează absorbția elementelor nutritive de către rădăcini, și că această influență nu este la fel la diferitele specii de plante (Richardson și alții). N. Zamfirescu, în cercetările efectuate în 1936 și 1937, a stabilit că temperatura influențează diferit absorbția ionului NH_4^+ și NO_3^-. La temperaturi sub 18 °C și peste 44 °C, ionii de NO_3^- se absorb mai energic, iar la temperatura cuprinsă între 18 și 44 °C, ionii de NH_4^+. Ionii de K^+ intră în plante în cantitate de 9 ori mai mare la temperatura de 32 °C decît la 4 °C. Ionii de PO_4, la temperatura de 32 °C, se absorb de 8 ori mai mult ca la 40 °C, iar ionii de Ca^{++}, de 2 ori mai mult ca la 4 °C.

In alte cercetări mai recente, efectuate cu P^{32} de către N. Zamfirescu în colaborare cu Gh. Bîlteanu și St. Urtilă, s-a făcut confirmarea cercetărilor anterioare pentru elementul fosfor și s-a extins studiul și la alte plante : soia, năut, bumbac, ricin, fasole și porumb.

Studiile întreprinse de alți cercetători, ca Bremer și Branly, arată că plantele ținute la lumină absorb foarte energic fosforul și azotul ; la întuneric, absorbția celor două elemente este slabă. Alte cercetări arată că temperatura scăzută a solului și aerul din sol încărcat cu CO_2 micșorează absorbția elementelor minerale.

Cercetările din 1954 ale lui Z. I. Jurbițki și H. V. Strausberg arată că temepratura optimă de absorbție a ionilor minerali la plantele mezofile este în jurul lui 20 °C, iar la termofile, în jurul temperaturii de 30 °C.

f) *Influența aerisirii.* Aerisirea influențează vizibil absorbția substanțelor nutritive. Aerisirea slabă duce la micșorarea absorbției substanțelor nutritive în ordinea următoare : $K^+ > Na^+ > Ca^{++} > Mg^{++} > PO_4^{---}$ (Lawton). La o slabă aerisire a solului, ionii de K^+ sînt slab absorbiți (Bower).

O sporire nu prea mare a conținutului în CO_2 în sol, în urma respirației rădăcinilor, descompunerii microbiologice a substanțelor nutritive, humusului influențează favorabil, în sensul că solubilizează combinațiile minerale greu solubile (carbonați, fosforiți etc.). O concentrație mare de CO_2 frînează respirația, și ca urmare absorbția elementelor minerale se micșorează.

g) *Influența eredității.* Ereditatea influențează vizibil absorbția elementelor minerale din mediu. Unele specii absorb cantități mari de anumite elemente, altele, dimpotrivă, absorb cantități mai mici.

Scanned with OKEN Scanner

8. Transportul elementelor minerale în rădăcină și în părțile aeriene ale plantelor

S-a arătat mai înainte că unii ioni, care au pătruns în perii absorbanți și în celulele zonei netede, sînt transportați prin intermediul unor transportori în vacuolele celulelor unde se acumulează și de unde nu pot difuza în exterior, și că alții (cei de NO_3^-, NH_4^+, HCO_3^-, CO_3^{--}, PO_4^{---} etc.) intră în combinații chimice organice ca rezultat al numeroaselor metabolice celulare. In sfîrșit, alți ioni rămîn liberi în spațiul exterior al citoplasmei, pînă cînd ei pot fi deplasați de la o celulă corticală la alta, de-a curmezișul scoarței, prin intermediul plasmodesmelor și eliminați în vasele conducătoare de lemn.

Se consideră că în transportul ionilor de la celulele absorbante și pînă la vasele de lemn, un rol însemnat îl au potențialele electrice ale celulelor, care, deși mici (sub 100 milivolți pe mm), pot determina o mișcare vioaie a ionilor. Durata în care se deplasează ionii transversal prin scoarța rădăcinii este de cîteva minute. Experiențele cu izotopul radioactiv al fosforului (P^{32}) arată că izotopul ajunge în partea aeriană după 2 ore de la absorbția sa.

Din vasele conducătoare de lemn, unii ioni pot fi transportați în sus prin curentul de transpirație, atît în timpul perioadei de întuneric, cît și de lumină. Alți ioni pot să se miște în jos (în sens descendent) și să se acumuleze în celulele meristemului apical.

Mișcarea ionilor în sus, ascendent are loc aproape în întregime prin lumenul vaselor de lemn, fapt stabilit prin metoda atomilor marcați. Experiențele lui Hoagland (1939), cu atomii marcați arată că o parte din elementele minerale care sînt repede transportate ascendent în vasele de lemn ale tulpinii difuzează lateral în cambiu și în floem, în razele medulare, spre frunze, prin curentul transpirației, iar altă parte în meristeme, unde sînt utilizate în diferite procese. Cea mai mare parte din ionii minerali se acumulează în regiunea cu cea mai intensă creștere. Viteza cu care se mișcă ionii se poate vedea din tabelul 14.

Tabelul 14

Viteza de circulație a cîtorva ioni minerali, în cm/h

Ionii	Specia de plantă	Intensitatea circulației, în cm/h
Fosfat (PO_4^{---})	bumbac	21
Fosfat (PO_4^{---})	fasole	60
Fier (Fe^{+++})	fasole	43
Sulfat (SO_4^{--})	fasole	41

Multe studii arată că unii ioni ușor mobili sînt transportați și prin vasele liberiene. Cei mai mobili ioni sînt cei de NO_3^-, SO_4^{--}, PO_4^{---}, K^+

Na^+, Mg^{++}, Mn^{++}, BO_3^{---}. Ionii mai puțin mobili sînt cei de Fe^{+++}, Cu^{++}, și Zn^{++}. Ionii mobili pot fi folosiți pentru îngrășarea plantelor prin stropirea frunzelor. Succese în aplicarea elementelor prin stropire, în agricultură, s-au obținut cu Zn, Cu, BO_3^{---}, și Mo.

Ionii care pătrund prin frunze pot fi transportați și în spre părțile inferioare ale plantei (tulpină, rădăcină).

Numeroase alte studii arată că ionii circulă și în sens descendent în vasele liberiene. S-a putut face dovadă la multe plante că ionii de K^+, de Na^+, de Mg^{++} și de PO_4^{---} pot să circule de la frunze spre părțile inferioare (tulpină și rădăcină), unde pot fi reutilizați.

Alte studii au arătat că are loc la plante chiar o eliminare a acestor ioni în sol, precum și a altora (de NO_3^-, NH_4^+), alături de alte substanțe organice (acizi organici neazotați, amino-acizi, zaharuri).

Fenomenul eliminării ionilor minerali amintiți de către rădăcinile plantelor este deosebit de intens spre sfîrșitul vegetației. La baza fenomenului stau numeroase cauze: creșterea permeabilității celulelor rădăcinii din cauza îmbătrînirii, creșterea acidității din soluția solului și alți factori. Plantele mai pierd ioni minerali (de K^+, Mg^{++}, Ca^{++}) și prin organele lor aeriene în urma spălării lor de către apa de ploaie. Această pierdere se observă cînd plantele se apropie de sfîrșitul vegetației sau prin fenomenul de gutație și prin cel de lăcrimare naturală sau cauzată de tăierile ramurilor.

9. Funcțiile fiziologice ale elementelor minerale

Elementele minerale, acumulate sub formă de ioni în diferitele organe ale plantelor, îndeplinesc diferite funcții fiziologice în celule, între care unele sînt generale și comune multor elemente. Unele elemente minerale sub formă de ioni (în special cationii) influențează însușirile fizico-chimice ale coloidelor plasmei celulare, îndeplinesc rolul de regulator în procesele vitale și menținerea stabilității sistemelor coloidale, influențează reacțiile enzimatice, diviziunea celulei, contribuie la menținerea de potențiale electrice care sînt fundamentul funcționării materiei vii, au rol de tamponare, asigură echilibrul osmotic al celulelor, intervin în trasformările chimice din organism, în hidratarea coloizilor plasmatici etc.

In afară de aceste roluri, fiecare element îndeplinește și funcții speciale în celule. Unele elemente : azotul, fosforul, sulful — participă la construcția moleculelor organice alături de elementele carbon, hidrogen și oxigen, pe care plantele le iau din aer și din apă. Au deci rol plastic. Altele au și rol plastic, și rol de regulator și de stimulator al unor reacții celulare etc.

Cunoașterea funcțiilor elementelor esențiale pentru viața plantelor este una din problemele cele mai importante ale fiziologiei vegetale, fiindcă ne dă indicații cum putem interveni în metabolismul plantei prin aprovizionarea acesteia cu elemente sub formă de îngrășăminte, în raport cu cerințele fiecărei plante.

Scanned with OKEN Scanner

Vom rezuma pe scurt funcția elementelor necesare aparținînd metaloizilor și metalelor pe care plantele le absorb din sol.

Azotul. Este luat de plante sub formă oxidată de ioni de NO_3^- și sub formă amoniacală, ioni de NH_4^+. În plante îl găsim în cantitate de 1—3%. Intră în alcătuirea moleculei proteinelor, aminoacizilor, acizilor nucleici, lecitinelor, clorofilei și a enzimelor în grupările —NH_2, —NH, deci sub formă redusă. Pentru aceasta, radicalii azotați și azotiți (NO_3^-, NO_2^-), ca să fie înglobați în moleculele organice, trebuie mai întîi reduși. Azotul sub formă de ioni NH_4^+ este asimilat ca atare, pentru că este în formă redusă.

Fosforul. Participă sub formă oxidată de acid fosforic la alcătuirea moleculelor acizilor nucleici cuprinși în nucleoproteide, a lecitinelor (lipoide fosforate și azotate), a moleculei enzimelor fosforilante, a acizilor adenozin monofosforic (AMP), adenozindifosforic (ADP) și adenozintrifosforic (ATP), acumulatori de energie, în legături speciale macroergice. De asemenea, fosforul mai participă la formarea moleculei dehidrogenazelor (codehidraza I și codehidraza II), care sînt enzime ale respirației. Îl găsim la fel în esterii fosforici ai glucozei.

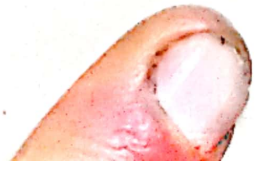
Fosforul este elementul energetic cel mai important. Fără el nu poate avea loc nici fotosinteza și nici respirația. Este absolut necesar în diviziunea celulară.

Sulful. Este luat de plante sub forma cea mai oxidată, de sulfat (SO_4^{--}), însă în plante el este redus, și astfel îl găsim în grupările SH, SH_2, în molecula unor amino-acizi ca cistina, metionina ș. a., componente ale unor proteine, în esența de alil din uleiul de muștar etc. Este absolut necesar sintezei clorofilei și în formarea nodozităților de pe rădăcinile plantelor leguminoase (mazăre, fasole, lucernă, trifoi etc.).

Potasiul. Prezent în toate organele cu activitate intensă (afară de cloroplastele celulelor organelor verzi) sub formă de ioni liberi (K^+) sau de combinații instabile cu proteinele; are funcții multiple în celule. El favorizează sinteza glucidelor simple și transformarea lor în glucide complexe (amidon, celuloză), transformarea aminoacizilor în proteine (în special în rădăcini), transformarea glucidelor în substanțe grase (uleiuri) și sinteza acidului citric.

În afară de aceste funcții esențiale, el mai are și altă funcție, tot esențială, și anume determină hidratarea coloizilor protoplasmici hidrofili. De asemenea, el contribuie la producerea presiunii osmotice din celule. Favorizează respirația și fotosinteza. Rolurile amintite se atribuie radiațiilor, în special ale izotopului K^{42}, care intră în mod regulat în amestecul natural. Are acțiune antagonistă față de ionii de Na^+ Ca^{++}, Mg^{++}. Are rol de tampon.

Calciul. Îl găsim în plantă sub formă de combinații stabile, și anume în pectatul de calciu din membrana celulară. Acest compus formează cimentul de legătură dintre celule. Are acțiune de deshidratare a coloizilor protoplasmei (acțiune inversă potasiului). Prin această funcție, calciul contribuie la menținerea protoplasmei într-o stare activă și stabilă. Are rol de tampon. El neutralizează acizii organici cînd devin toxici prin cantitatea lor mare, de exemplu acidul oxalic care se transformă în oxalat de calciu inso-



Scanned with OKEN Scanner

lubil în apă şi netoxic. De asemenea, calciul are rol antagonist faţă de alţi ioni (Mg^{++}, K^{+}, Na^{+}). Are rol de bază în mărirea elasticităţii pereţilor celulari (H. Burgström, 1955), favorizează absorbţia compuşilor cu azot din mediul nutritiv. Este necesar diviziunii nucleare.

Magneziul. În plante, magneziul se găseşte răspîndit în ţesuturile cu mare activitate fiziologică (frunze, organele de reproducere, meristeme), ca component al clorofilei în organele verzi şi al multor enzime respiratorii (hexochinaza, fosforilaza, carboxilaza, enolaza, dehidrogenaza izocitrică), în fosfoglucomutază etc., în fosfataze şi peptidaze, în dezoxiribonuclează. De asemenea, magneziul se mai întîlneşte în componenţa fitinei, substanţă de rezervă larg răspîndită în frunze, dar mai ales în seminţele plantelor oleaginoase. Fitina este o combinaţie între inosită (substanţă organică cu molecula ciclică), calciu, magneziu şi fosfor.

Se consideră că are rol în asimilarea şi transportul fosforului anorganic, precum şi în transportul glucidelor. Este important în metabolismul substanţelor grase.

Cercetările lui H. Chirilei şi El. Silli (1961) arată că magneziul influenţează metabolismul apei celulare. În cantitate mică măreşte coeficientul hidric celular, adică favorizează reţinerea unei cantităţi mai mari de apă pentru 1 g substanţă sintetizată. De asemenea el determină creşterea substanţei uscate şi clorofilei, acumularea de glucide solubile în apă şi scăderea intensităţii respiraţiei.

Fierul. Participă în reacţiile de oxido-reducere care au loc în procesul respiraţiei, datorită capacităţii pe care o are de a trece din forma ferică (Fe^{+++}) în forma feroasă (Fe^{++}) şi invers. Această acţiune se explică prin aceea că face parte din molecula unor enzime ale respiraţiei : catalaza, peroxidaza, în citocromoxidază (fermentul roşu al lui Warburg) şi citocromii a, b şi c ai lui Keilin, în citocromperoxidază şi reductaza citocromului c. Este esenţial pentru formarea clorofilei, fără ca să intre în molecula acestei substanţe.

Manganul. Are funcţii multiple. Prin faptul că face parte din compoziţia multor enzime, participă atît în procesele de descompunere ale unor substanţe, cît şi în cele de sinteză. Îl găsim în molecula fosfatazelor, arginază, peptidaze.

Manganul activează sinteza moleculei de clorofilă. Participă în procesele de oxido-reducere ale respiraţiei prin aceea că face parte ca coferment din molecula multor enzime ale respiraţiei : hexochinazei, enolazei, carboxilazei şi altele. Este un activator al enzimei invertaza. Contribuie la sinteza glucidelor, la reţinerea apei de către coloizii hidrofili protoplasmatici

H. Chirilei (1961) arată ca manganul, sub formă de sulfat de mangan în concentraţie de 0,015—0,025%, determină o mai bună hidratare a celulelor prin mărirea capacităţii de reţinere a apei, favorizează acumularea glucidelor şi determină creşterea intensităţii respiraţiei.

Zincul. Este absolut necesar sintezei triptofanului (amino-acid), care este substanţa de origină a hormonului de creştere, heteroauxina. Ca coenzimă a multor enzime (fosfataza alcalină, pirofosfataza I, adenozintrifosfataza), a unor dipeptidaze, zincul participă la sinteza şi descompunerea esterilor, dipeptidelor.

Scanned with OKEN Scanner

Zincul, ca coenzimă a enzimelor : enolaza, carbohidraza și aldolaza, participă în procesele de oxidare a glucozei. Favorizează sinteza clorofilei.

Cuprul. Element absolut necesar plantelor. Face parte din molecula multor enzime ale respirației : polifenoloxidază, ascorbinoxidază, aldolază, alături de Zn, Co și Fe. Întrucît face parte din enzima ascorbinoxidază, cuprul favorizează sinteza acidului ascorbic (vitamina C) și sinteza clorofilei.

H. Chirilei (1960) arată că acest element, sub formă de $CuSO_4$, în concentrație de 0,005—0,010%, determină creșterea capacității de reținere a apei în frunze, acumularea de glucide solubile în apă în frunze și creșterea intensității respirației.

Borul. Are rol deosebit în metabolismul acizilor nucleici, fără de care diviziunea celulară (în meristeme), diferențierea țesuturilor și formarea membranelor celulare nu este posibilă.

Favorizează activitatea enzimelor fosforilante, sinteza glutaminei (amida acidului glutamic), stimulează activitatea enzimelor invertaza și tirozinaza, influențează favorabil sinteza clorofilei, metabolismul glucidelor, creșterea nodozităților de pe rădăcinile plantelor leguminoase. Este absolut necesar fructificării.

Molibdenul. Este necesar pentru formarea nodozităților de pe rădăcinile plantelor leguminoase, pentru sinteza taninurilor, reducerea nitraților din celule în nitriți (NO_3^- în NO_2^-).

Cobaltul. Este și el absolut necesar plantelor. El face parte din compoziția fosfatazei alcaline și adenozintrifosfatazei (esterazei), din compoziția chimică a arginazei, glicilglicindipeptidazei, fosfoglucomutazei și aldolazei. Prin urmare, acest element contribuie la descompunerea și sinteza esterilor în anumite reacții ale respirației. Face parte și din compoziția vitaminei B_{12}, descoperită în multe plante.

Aluminiul. Deși nu este considerat un element indispensabil, favorizează totuși creșterea (H. Chirilei), contribuie la deshidratarea coloizilor protoplasmatici. Siliciul are o acțiune favorabilă asupra creșterii plantelor ; elementul este necesar pentru formarea carapacei diatomeelor.

Sodiul și *clorul* sînt necesare pentru plantele halofile adaptate să trăiască pe terenuri bogate în NaCl și pentru plantele marine. La acestea, funcția cea mai de seamă a sodiului este aceea de a crea și menține o presiune osmotică ridicată în celule, fără de care ele n-ar putea absorbi apă din solurile cu NaCl, unde este reținută cu o mare energie. Funcția clorului s-ar manifesta prin aceea că ar favoriza creșterea cantității în apă a țesuturilor vegetale și asimilarea mai bună a magneziului.

10. Simptomele lipsei elementelor minerale esențiale din nutriția plantelor

Cînd din nutriția plantelor lipsește sau se află în insuficiență un element necesar, apar simptomele unor boli fiziologice specifice legate de acest element. Cîteva din aceste simptome pot fi observate vizibil, pe cînd altele, mult mai subtile, nu pot fi descoperite decît cu metode fine. Observația

Scanned with OKEN Scanner

vizuală a simptomelor poate, frecvent, să servească la diagnosticarea naturii nutriției.

Simptomele unui element nutritiv necesar se explică prin aceea că împiedică formarea uneia sau a mai multor compuși care sînt indispensabili în creșterea și dezvoltarea plantelor.

O altă caracteristică a lipsei unor elemente minerale este încetinirea sau oprirea creșterii tulpinilor, rădăcinilor, frunzelor și fructelor.

În afară de aceste simptome generale, mai sînt și altele, specifice sau caracteristice fiecărui element.

Lipsa și excesul azotului (v. planșa I). Cu excepția leguminoaselor, plantele depind în nutriția lor de azotul nitric și amoniacal din sol. Principalul simptom al lipsei azotului este oprirea creșterii și slăbirea culorii verzi a mezofilului frunzelor, simptom care crește pînă la completa îngălbenire sau cădere a frunzelor inferioare (fig. 49) la o lipsă prelungită a acestui element.

Fig. 49. Plantă de floarea-soarelui; *a* — crescută pe un mediu mineral nutritiv cu azot (*a*); *b* — pe un mediu lipsit de azot; *c* — simptomul carenței azotului la o plantă de tutun. Frunzele de la bază sînt galbene și răsucite

La tomate și multe alte specii, lipsa azotului determină apariția unei culori purpurii sau roșii. Nervurile se colorează în roșu cu pigmenții antocianici, care sînt produși în cantități anormale în condițiile lipsei azotului.

Excesul azotului în nutriția plantelor duce la închiderea culorii frunzelor (tind să devină verzi închise) la creșterea suculenței frunzelor, formare de tulpini fragile și la creșterea vegetativă exagerată.

Lipsa fosforului. Simptomele lipsei fosforului sînt mai puțin caracteristice decît ale lipsei azotului și ele pot fi recunoscute totdeauna prin observația vizuală. În general, lipsa acestui element împiedică creșterea plantei, frunzele își intensifică culoarea (devin verzi închise) și au adesea tendința de a deveni purpurii sau roșii, datorită acumulării în epiderma lor a pigmenților antocianici. Aceste simptome pot fi însoțite de apariția de porțiuni necrozate care se întind și la pețiol și fructe. Adesea are loc căderea frunzelor. Tulpinile rămîn scurte și subțiri dacă lipsa fosforului se manifestă în fazele mai tîrzii ale creșterii.

Lipsa potasiului (v. planșa II). Lipsa potasiului din nutriția plantei determină o ușoară îngălbenire și uscare a marginilor frunzelor, care ulterior se întinde pe toată suprafața limbului (fig. 50).

Scanned with OKEN Scanner

Creșterea plantei este limitată, și tulpinile devin adesea așa de firave, încît sînt cu ușurință rupte de vînt.

Fig. 50. Simptomul carenței potasiului la tutun

Lipsa calciului (v. planșa III) cauzează o rapidă și completă dezintegrare a regiunilor termice, de creștere a tulpinii și rădăcinii multor specii de plante. Ca simptom care se dezvoltă, primul este malformația tinerelor frunze, mortificarea marginilor frunzelor mature etc. (fig. 51). Simptomele lipsei calciului din nutriția plantelor sînt însă adesea complicate prin faptul că el îndeplinește și rolul în reglarea absorbției altor elemente din sol sau din soluția nutritivă de către rădăcini. În lipsa calciului, poate, de exemplu, să rezulte o absorbție anormal de ridicată și în cantități toxice a magneziului. Simptomele toxicității magneziului, mai puțin evidente decît ale calciului, pot astfel să apară la plantele crescute în sol sau în soluție nutritivă, care sînt sărace în calciu și bogate în magneziu.

Lipsa magneziului (v. planșa II). Lipsa magneziului din nutriția plantei provoacă în mod obișnuit îngălbenirea sau cloroza frunzelor, care se manifestă începînd cu cele de la bază și înaintează spre vîrf. Acest simptom caracteristic, frecvent este însoțit de porțiuni necrozate ale frunzei sau de necrozarea frunzei întregi.

În lipsa magneziului, frunzele de bumbac pot deveni roșii, și în același timp cu pete necrozate (fig. 52). Vîrfurile și marginile frunzelor se curbează în sus, tulpinile rămîn firave.

Lipsa sulfului. Lipsa sulfului nu este frecventă în condițiile obișnuite de creștere, pentru că în sol se găsesc cantități apreciabile de ioni de SO_4^{--}. Simptomele lipsei acestui element sînt cunoscute din experiențele efectuate cu soluții nutritive din care se scoate sulful. Simptomul caracteristic este

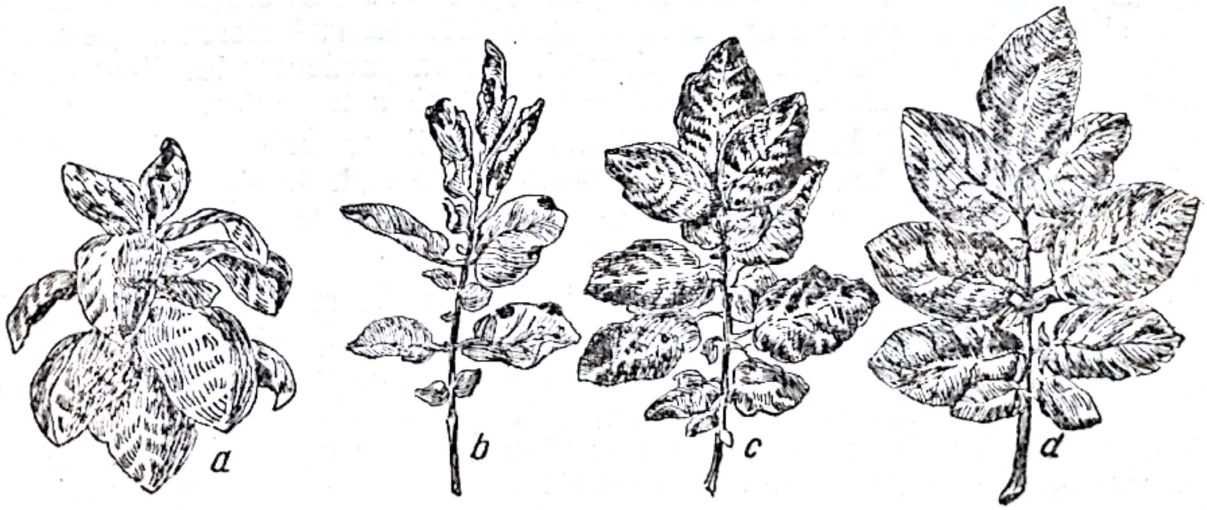


Fig. 51. Simptomul carenței calciului la tutun:
a, b și *c* — frunze de cartof bolnave din cauza carenței calciului; *d* — frunze sănătoase (după A. Nelson)

Fig. 52. Simptomul carenței magneziului la tutun

Fig. 53. Simptomul carenței fierului la tutun

îngălbenirea frunzelor tinere într-o fază timpurie, în timp ce la o lipsă accentuată, frunzele bătrîne pot deveni verzi-palide. Rădăcinile, în general, sînt mai puțin afectate.

Lipsa fierului (v. planșa III). Simptomul caracteristic al lipsei fierului este îngălbenirea remarcabilă a tinerelor frunze (fig. 53). Această îngălbenire — cloroza fierului — afectează mezofilul care poate deveni alb la culoare. Nervurile rămîn colorate în verde, iar codița frunzei scurtă și subțire. Frunzele tinere clorotice pot rămîne pe plantă o lungă perioadă de timp albe sau galbene, pe cînd cele mature rămîn verzi.

Lipsa borului. Funcțiile borului în celulele plantelor sînt aproape necunoscute, însă simptomele lipsei lui sînt foarte evidente și relativ constante de la o plantă la alta. Simptomul cel mai remarcabil este mortificarea regiunilor de creștere a tulpinii și rădăcinii. Ca urmare, creșterea plantei și producerea de noi frunze încetează. De aceea și pentru această rațiune, simptomul borului a fost denumit „boala vîrfului". Lipsa borului în țesuturile organelor duce la dezintegrarea și brunificarea țesuturilor interne, simptom care se întîlnește la sfecla de zahăr, la brunificarea și formarea suberului în mere, la brunificarea conopidei ș.a.

Lipsa manganului. În lipsa manganului, frunzele în creștere devin palide și cu pete brune sau gri, care se mortifică. Această clorază, asemănătoare cu cea produsă de lipsa fierului, este în particular localizată între nervuri și duce la moartea și căderea prematură a frunzelor.

Lipsa cuprului. Se manifestă la multe specii de plante prin uscarea vîrfurilor tinerelor frunze, care în cele din urmă cad. În lipsa acestui element, frunzele sînt permanent ofilite chiar în condițiile unei bune aprovizionări cu apă.

Lipsa zincului. Simptomul lipsei zincului se observă adesea la plantele anuale. Ele se manifestă prin îngălbenirea frunzelor inferioare la vîrfuri și pe margine. În frunze se dezvoltă porțiuni mortificate, și frunzele pot fi malformate. La citracee, piersic etc. cad fructele, frunzele sînt oprite în creșterea lor și rămîn îngrămădite pe ramuri sau în rozete, din care cauză simptomul s-a numit „boala micii frunze".

Lipsa molibdenului. Lipsa acestui element din nutriția plantei oprește la leguminoase formarea nodozităților de pe rădăcini, iar la plantele nele-

guminoase determină apariția de pete brune la baza frunzelor sub formă de bastonașe care adesea se necrozează, căderea frunzelor și o slabă legare a fructelor.

11. Asimilarea azotului de către plante

Dintre elementele necesare plantelor, azotul ocupă o poziție aparte, deși în compoziția chimică a plantelor se găsește în cantitate mică. Importanța lui a fost arătată.

Majoritatea covîrșitoare a plantelor asimilează azotul pe care îl iau din sol sub formă de azotați și de săruri amoniacale, prin rădăcinile lor. Numai puține plante pot să asimileze și azotul molecular (N_2) din aer.

a. *Asimilarea azotului nitric și amoniacal*

Se consideră că atît azotul nitric, cît și cel amoniacal constituie bune surse de azot pentru plante, dar că asimilarea acestor forme de azot depinde de o serie întreagă de factori interni și externi: specia de plantă, vîrsta plantei, reacția mediului, capacitatea de tamponare a solului, predominarea în sol a unor ioni sau a altora etc.

În genere, sărurile de amoniu sînt preferate de acele plante care sînt adaptate la o reacție neutră a solului, iar azotații de cele care cresc pe soluri cu reacție acidă. Sărurile de amoniu, în special $(NH_4)_2SO_4$, care este o sare fiziologic acidă, dacă se găsesc într-un sol cu reacție acidă, dăunează plantelor datorită acumulării ionilor de SO_4^{--} în sol, ca urmare a absorbției inegale de către rădăcini. Rădăcinile absorb mai repede și mai energic ionii de NH_4 decît de SO_4^{--}. În mediu slab alcalin sau chiar neutru, această acumulare nu poate duce la creșterea prea mare a acidității, și deci nu poate dăuna plantelor.

Azotații sînt mai bine absorbiți din solurile cu reacție acidă și mai eficient folosiți de către plante.

Cele două forme de azot, comparate din punct de vedere al utilizării lor de către plante, se deosebesc. Mai bună este forma amoniacală, pentru că este direct folosită la sinteza aminoacizilor din care apoi se formează proteinele, decît cea nitrică. Forma nitrică trebuie redusă, pentru aceasta planta consumînd energie, și numai după aceea este folosită în sinteza amino-acizilor componente ale moleculei proteinelor.

Unele plante preferă ca sursă de azot nitrații (hrișca, dovlecii, rapița, loboda, *Chenopodium* etc.), altele sărurile amoniacale (meiul, orezul, porumbul, cartoful). Această preferință la plante pentru sursele de azot mineral este în legătură și cu capacitatea plantelor de a acumula în celulele lor compuși mai puțin oxigenați (zaharuri) și puternic oxigenați (acizii organici). Dacă în celule raportul dintre zaharuri și acizii organici este în favoarea zaharurilor, plantele folosesc ca sursă de azot forma nitrică, și invers. Dar utilizarea mai bună sau mai slabă a unei forme sau a alteia de azot este în legătură și cu cauze externe care există în soluția solului. Dacă

Scanned with OKEN Scanner

în soluția solului sînt prezente mai multe săruri de ale acidului clorhidric cu metale monovalente (KCl, NaCl), plantele absorb mai bine nitrații. Sărurile acidului clorhidric și sulfuric cu metale bivalente (Ca, Mg), dimpotrivă, favorizează absorbția amoniului și stînjenesc absorbția nitraților. La aceste condiții se mai adaugă și concentrația soluției în cei doi ioni. La o creștere a concentrației soluției în ioni de NO_3, descrește pînă la o anumită limită absorbția ionilor de NH_4. În tabelul 15 se poate vedea mersul absorbției azotului nitric și amoniacal în funcție de concentrația soluției nutritive în ioni de NO_3^- și NH_4^+.

Tabelul 15

Mersul absorbției ionilor de NO_3 și NH_4 în funcție de concentrația soluției în acești ioni

Absorbția N în mg	Concentrația în ioni de NO_3 și ioni NH_4					pH-ul soluției
	N/0,01	N/0,025	N/0,05	N/0,075	N/0,1	
NO_3	6,9	38,9	69,2	36,1	21,0	pH=7
NH_4	11,2	48,8	51,5	16,6	11,9	
NO_3	3,1	8,7	9,9	10,0	15,1	pH=5,2
NH_4	1,6	0,3	−2,1	−1,3	−1,9	

De aici concluzia că plantele pot asimila mai bine forma nitrică sau forma amoniacală în raport de transformările biochimice din celule, de raportul dintre diferiții ioni din soluția solului, de reacția solului, de concentrația ionilor celor două forme de azot în soluție etc.

Aceste cunoștințe sînt de mare importanță pentru practica aprovizionării plantelor cu îngrășăminte artificiale cu azot.

b. *Asimilarea azotului molecular (N_2)*

În natură, cea mai mare cantitate de azot (80%) se găsește în stare gazoasă, în aer. S-a dovedit că azotul din aer poate să fie fixat în sol de către anumite bacterii. Unele dintre ele trăiesc liber în sol, cum sînt: *Azotobacter chroococcum* și *Clostridium pasteurianum*, altele, ca *Rhizobium leguminosarum*, trăiesc în simbioză cu plantele leguminoase, formînd nodozități pe rădăcinile lor.

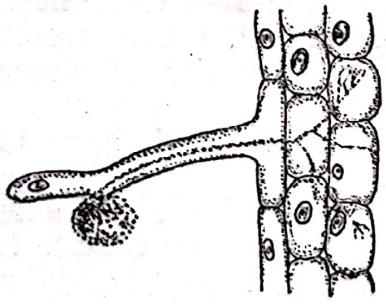


Fig. 54. Locul de pătrundere a bacteriei *Rhizobium leguminosarum* și drumul pe care îl urmează în rădăcină (după Fischer)

Plantele din familia leguminoase (trifoiul, lucerna, fasolea, mazărea, măzărichea, lupinul, bobul etc.) cresc și se dezvoltă normal numai cu azot molecular, pe care îl asimilează în mod cu totul deosebit.

Nodozitățile de pe rădăcini sînt produse chiar de către bacteria *Rhizobium*, care se instalează apoi în interiorul celulelor lor. Bacteriile din sol pătrund în perișorii radiculari (fig. 54) din care înaintează apoi în celulele

corticale pînă la periciclu, unde, secretînd heterauxina, determină intrarea în diviziune a celulelor acestuia și a celor corticale din apropiere. Formarea și creșterea nodozităților este favorizată de elementele molibden, bor, calciu și sulf. Ca rezultat al acestei proliferări apar pe rădăcini mici umflături care cresc pînă cînd ating o anumită dimensiune (fig. 55). În aceste umflături numite nodozități se localizează bacteria, unde se înmulțește și fixează azot molecular, pe care îl transformă în azot asimilabil. În condiții de luptă echilibrată, bacteria și planta gazdă își însușesc, prin schimb reciproc, substanțele nutritive necesare. Bacteria își însușește de la planta leguminoasă zaharuri și alte substanțe organice pe care nu le poate produce și de care are nevoie (unele vitamine etc.), iar planta leguminoasă își însușește alte combinații organice, care conțin azot provenit din asimilarea azotului molecular de către bacterie. Azotul molecular, în urma asimilării, se acumulează în nodozități, mai ales sub formă de uree de amino-acizi și proteine.

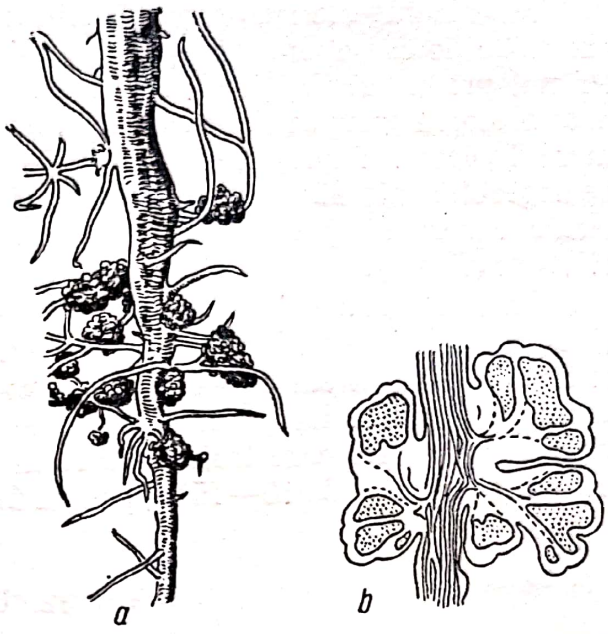


Fig. 55. Rădăcină de lupin cu nodozități (*a*) și secțiune printr-o nodozitate (*b*). Se văd celule cu bacterii

Bacteria *Rhizobium,* cînd se localizează în nodozități, își dezvoltă însușirea de a fixa și asimila azotul molecular, însușire care, pe medii artificiale, nu se manifestă decît extrem de slab. Capacitatea bacteriei de a fixa azot devine maximă cînd trece în forma de *bacteroizi* (fig. 56).

Diferitele specii de leguminoase trăiesc în simbioză cu forme de *Rhizobium* specifice. Cauzele acestei specificități, de natură biochimică, încă nu sînt bine cunoscute. Se consideră, în urma studiilor făcute, că ar fi în legătură cu anumiți alcaloizi pe care îi produce planta respectivă. În afară de plantele leguminoase, pot intra în relații simbiotice microorganismele fixatoare de azot molecular și alte plante aparținînd celor mai diferite grupe sistematice, arinul (*Alnus*), salcia mirositoare (*Eleagnus*), rădăcinile de codină (*Alopecurus pratense*) etc.

Mecanismul biochimic al fixării azotului molecular atît de către bacteriile *Azotobacter* și *Clostridium,* cît și de către *Rhizobium* nu este încă bine cunoscut.

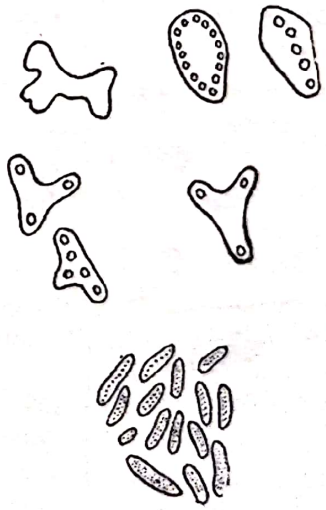


Fig. 56. Bacterii de nodozități normale (jos) și modificate (sus) (după Fischer)

In prezent este susținută părerea că pentru fixarea azotului molecular, bacteriile folosesc energia pe care și-o procură din oxidarea zaharurilor. Primul produs al fixării N_2 se consideră *hidroxilamina* (NH_2OH), al cărei azot trece în compoziția aminoacizilor. Se acordă în procesul fixării N_2 o mare importanță prezenței a doi pigmenți heminici, unul asemănător cu hemoglobina din sîngele animalelor, și celălalt cu *methemoglobina,* în molecula cărora se găsește fier trivalent (Fe^{+++}) capabil să treacă în fier bivalent (Fe^{++}).

Datorită însușirii de a îmbogăți solul în azot, plantele leguminoase sînt considerate ameliorante. Prin descompunerea rădăcinilor, în fiecare an se acumulează în sol 80—100 kg de azot asimilabil la hectar, provenit din azotul molecular. La această cantitate se adaugă și cel provenit din activitatea bacteriilor care trăiesc libere în sol, care poate fi de 20—40 kg pentru *Azotobacter* și de 10—15 kg pentru *Clostridium* la hectar.

12. Unele particularități cu privire la folosirea de către plante a compușilor minerali greu solubili și ușor solubili în apă

S-a arătat mai înainte că o substanță minerală nu poate fi absorbită de către rădăcinile plantei decît dacă se găsește în stare dizolvată. Un element mineral esențial pentru plantă, dacă face parte din combinații insolubile în apa solului pentru cîtva timp, nu este valorificat de plantă. Plantele, pentru a utiliza elemente din astfel de combinații, elimină anumiți ioni care, reacționînd cu combinațiile insolubile, le solubilizează, și astfel se eliberează elementele nutritive. Experiențele arată că dacă rădăcina plantei în drumul ei prin sol vine în contact cu suprafața lucie a unei plăci de marmură ($CaCO_3$), după cîtva timp rădăcina dizolvă marmura la locul de contact, și astfel pe suprafața ei se imprimă radăcinile, marcate de apariția unor adînciturl (fig. 57).

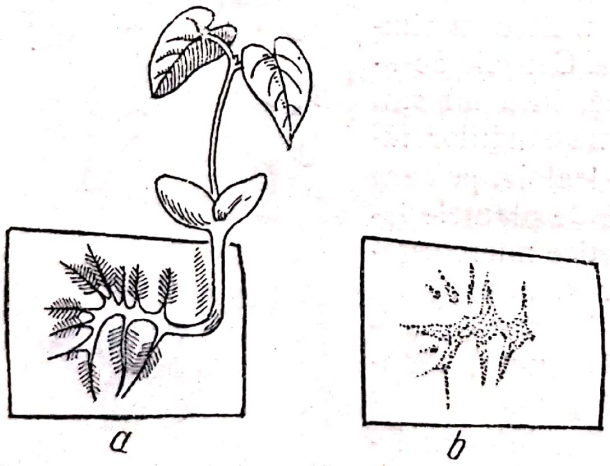


Fig. 57. Rădăcinile unei plante de fasole în contact cu o placă de marmoră (*a*) o corodează (*b*) (după Guilliermond)

Rădăcinile elimină CO_2 ce dizolvă carbonatul de calciu. Pot fi dizolvați și alți compuși insolubili ai calciului (fosfatul tricalcic) din care plantele își iau fosforul și calciul, marnele, silicații de aluminiu și de potasiu din care își iau potasiul etc.

Față de formele insolubile ale fosforului, unele plante se comportă diferit.

Astfel, tomatele, în prima perioadă de vegetație consumă

slab fosforul din combinațiile greu solubile în apă. Ele preferă fosforul din combinațiile ușor solubile. În cea de-a doua perioadă a vegetației, plantele consumă mai bine fosforul din combinațiile greu solubile. În același mod se comportă și morcovul, macul și meiul.

Alte plante, ca de pildă muștarul, sfecla de masă, preferă în tot cursul vegetației combinațiile greu solubile ale fosforului.

Această comportare a plantelor menționate se explică prin însușirea rădăcinilor de a excreta acizi organici — în unele perioade mai abundent, în altele mai puțin. O cauză este și absorbția intensă a calciului.

Și capacitatea de a asimila diferite forme de îngrășăminte minerale cu azot se schimbă în legătură cu creșterea și dezvoltarea plantelor. Pentru tomate, cea mai bună sursă de azot în prima perioadă de vegetație este forma amoniacală, iar în cea de-a doua jumătate a perioadei de vegetație, forma nitrică.

13. Bazele fiziologice ale aplicării îngrășămintelor minerale

Este recunoscut faptul că pentru obținerea de recolte mari și de calitate în cîmp, este absolut necesar să se aprovizioneze plantele cu substanțele esențiale în cantități mari, sub forma de îngrășăminte. Bineînțeles că aplicarea rațională a îngrășămintelor trebuie să se bazeze pe o cunoaștere prealabilă a bogăției solului în elementele esențiale pentru plante, precum și pe cerințele plantelor în diferitele lor faze de vegetație față de elementele minerale esențiale. Bogăția unui sol în elemente minerale și cerințele plantelor față de ele se stabilește după reacția plantelor la adaosul de îngrășăminte date solului în doze și combinații diferite și după eficiența utilizării lor în diferitele perioade de vegetație. În acest scop se folosesc metode fiziologice agronomice și biologice.

Pentru aprecierea fertilității solului în substanțe minerale asimilabile se folosesc mai mult metode: 1) *metoda fiziologică,* metodă care constă în creșterea plantelor în vase de vegetație în sol natural; 2) *metoda agronomică a culturilor comparative* din cîmpurile de experiență; 3) *metoda biologică.*

a) *Metoda fiziologică* a vaselor de vegetație este folosită în cea mai mare măsură de laboratoarele de fiziologie vegetală din diferitele institute agro-silvice pentru studiul efectului adaosului de îngrășăminte în diferite doze și în diferite combinații asupra măririi și calității recoltelor.

Pentru cultivarea plantelor în sol natural se folosesc vase speciale de tablă smălțuită, cu o capacitate ce poate fi diferită.

Metoda vaselor de vegetație ne dă posibilitatea să reglăm ușor condițiile de umiditate și de aprovizionare cu substanțele minerale nutritive. În condiții de instalații adecvate se poate regla factorul lumină și temperatură.

În experiențele cu vasele de vegetație care cuprind aceeași cantitate de sol omogen amestecat, de obicei unii din factorii de vegetație se mențin constanți și variază numai unul dintre ei, a cărui acțiune vrem să o urmărim asupra creșterii și dezvoltării plantelor. De exemplu, dacă urmărim

Scanned with OKEN Scanner

efectul adaosului de îngrășăminte, atunci menținem constante în tot timpul vegetației umiditatea, lumina, temperatura etc. și variem numai doza și compoziția îngrășămintelor din vase. De obicei se menține în vasele de vegetație o umiditate de aproximativ 60—70% din capacitatea totală de saturație a solului.

Cînd urmărim eficacitatea adaosului de îngrășăminte cu azot, fosfor și potasiu asupra unui anumit sol, se lucrează cu mai multe variante (NPK, NP, și PK) și în 4—6 repetiții, pentru ca la interpretarea datelor să putem aplica calculul erorilor probabile. Se compară apoi rezultatele din aceste variante cu cele ale variantei martor (control), care nu primește nici un fel de îngrășămînt. Pentru a cunoaște în mod precis care dintre cele trei elemente contribuie în măsura cea mai mare la sporirea recoltei, se procedează la calcularea diferenței de recoltă dintre variante.

b) *Metoda culturilor comparative* din cîmpurile de experiență se folosește în agronomie. În experiențele de cîmp se împarte terenul în parcele de o anumită suprafață, după natura plantei cu care se experimentează. Se lucrează, de asemenea, cu numeroase variante, în 4—6 repetiții. Se valorifică recolta separat pe fiecare variantă și repetiție, și interpretarea datelor se face pe baza calculelor de tehnică experimentală. Rezultatele obținute prin această metodă sînt mai reale, deoarece plantele se găsesc în condițiile lor naturale de viață : lumină, temperatură, umiditate, iar rădăcinile nu se află înghesuite într-un spațiu restrîns de sol.

c) *Metoda biologică,* în comparație cu primele două, este foarte rapidă. Se bazează pe reacția ciupercii *Aspergillus niger* față de conținutul solului în elemente minerale (P, K, Cu, Mg). În cazul primelor două elemente, dacă solul le conține în cantitate îndestulătoare, ciuperca va crește bine. Din contra, dacă este puțin P și K în sol, ciuperca crește slab, și miceliul va cîntări mai puțin.

Cantitatea de cupru (Cu) în sol se poate aprecia după culoarea sporilor. Dacă solul nu conține cupru, culoarea sporilor este albă. Dacă solul conține 1 parte cupru la 200 milioane părți de sol, sporii se colorează în galben-portocaliu. Culoarea sporilor devine ușor brună cu 2 părți cupru la 200 milioane părți sol. La concentrații de 1 parte cupru la 16 milioane părți sol, sporii capătă o culoare brună-neagră sau neagră. Rezultatele se obțin în 5 zile.

De asemenea, *Aspergillus* poate fi folosit și pentru aprecierea lipsei magneziului. După 5 zile de experiență, ciuperca, cultivată într-un mediu lipsit de Mg, nu mai crește. Dacă se adaugă mediului numai 25 mg $MgSO_4$ $7H_2O$, se observă o ușoară creștere a ciupercii. Adăugînd o cantitate și mai mare de magneziu, creșterea ciupercii este ameliorată, și numărul de spori crește.

14. Administrarea fracționată a îngrășămintelor

S-a arătat că în viața unei plante, ritmul consumului pentru substanțele minerale esențiale nu este același. Există *perioade ale consumului maxim,* cînd elementele minerale sînt absorbite de plante în cantitatea cea mai mare,

Scanned with OKEN Scanner

care în genere corespund cu perioada eficienței maxime cînd elementele nutritive au cea mai favorabilă influență asupra creșterii și dezvoltării plantelor, precum și *perioade critice* în nutriția plantelor, care apar în primele faze de vegetație a plantelor.

Pe baza acestor cunoștințe cu privire la nutriția plantelor cu substanțe minerale din sol, fiziologia recomandă, în locul metodei empirice, administrarea îngrășămintelor în sol în mod fracționat, după cerințele plantei. Aceasta permite o creștere mai bună a plantelor în perioada cînd au nevoie, stimularea activității metabolice din întregul ciclu vital al plantelor, obținerea unei fructificări mai bune, o recoltă sporită și de calitate.

Pe baza unor serii întregi de experiențe, s-a concretizat ideea că plantele de cultură, în prima fază de vegetație, trebuie să primească mai mult azot decît fosfor și potasiu, pentru a se obține o creștere mai rapidă și mai viguroasă a plantelor și o mărire a suprafeței foliare. Într-o fază ulterioară este necesar ca să fie redusă cantitatea de azot (cu unele excepții) și să se mărească în sol cantitatea de fosfor și potasiu, știind că aceste elemente favorizează sintetizarea unei cantități mai mari de glucide în frunze, migrația glucidelor de la frunze spre alte organe ale plantei, maturizarea fiziologică, fructificarea mai devreme.

Pentru crearea unui echilibru între creșterea și dezvoltarea plantelor, deoarece numai așa se obțin recolte mari, este nevoie să se schimbe raportul dintre elementele nutritive în decursul perioadei de vegetație. O aprovizionare intensivă cu azot în fazele mai tîrzii de vegetație duce la prelungirea perioadei de vegetație. Pentru unele plante, de exemplu castraveți, este favorabilă o astfel de nutriție, căci duce la o sporire simțitoare a recoltei, care este de dorit pentru cultura obișnuită de castraveți. La alte plante, de exemplu la varză, nevoia pentru azot crește cu vîrsta, iar cea de fosfor scade. Cu cît raportul dintre azot și potasiu este în favoarea azotului, cu atît mai repede se formează și cresc căpățînile.

În tehnica aplicării îngrășămintelor minerale trebuie să se țină seama și de particularitățile unor specii de a folosi diferit în cursul vegetației combinațiile greu solubile și ușor solubile ale fosforului, azotului nitric și amoniacal.

În afară de condițiile arătate, pentru ca îngrășămintele minerale să fie eficient folosite și să ducă la creșterea cantitativă și calitativă a recoltelor, plantelor trebuie să li se asigure și alte condiții : lumină suficientă, temperatură potrivită și apă îndestulătoare. Gh. Bîlteanu stabilește că cea mai bună folosire a îngrășămintelor la bumbac are loc cînd umiditatea solului este de 80% din capacitatea maximă pentru apă. La constatări asemănătoare a ajuns H. Chirilei și El. Silli (1961) în experiențele cu ovăz și soia, cu privire la folosirea îngrășămintelor de magneziu.

Prin aplicarea fazială a îngrășămintelor în raporturi favorabile se îmbunătățește și calitatea recoltelor. Așa, de exemplu, pentru obținerea de fibre textile de calitate superioară (rezistență mare la rupere), raportul între azot și potasiu este bine să fie de 1 : 2,5.

Desigur că la aplicarea îngrășămintelor fazial se întîmpină multe greutăți, pentru că nu se cunoaște încă bine nevoia plantelor în elemente

Scanned with OKEN Scanner

nutritive, ea modificîndu-se cu vîrsta și stadiile de dezvoltare ale plantei. Nu trebuie pierdut din vedere nici faptul că îngrășarea în timpul fazelor de creștere necesită cheltuieli suplimentare, care uneori pot mări prețul de cost al produsului.

Unele greutăți provin și din faptul că raporturile de interdependență dintre elementele nutritive sînt foarte complexe și acționează diferit în procesele de creștere și de dezvoltare.

Sistemele de aprovizionare a plantelor cu elemente nutritive trebuie să constituie o metodă pentru educarea dirijată a organismelor cu ereditate zdruncinată, prin nutriția minerală. La noi în țară, N. Ceapoiu și E. Itoafă (1955) au arătat că este posibilă o educare a hibrizilor de cînepă prin aplicarea îngrășămintelor pe faze de vegetație.

Ca metodă de sporire a producției agricole, dar pentru fazele mai tîrzii de creștere (înainte și în timpul înfloritului), se poate folosi stropirea plantelor cu soluții nutritive care să conțină elementele de bază, plus elementele bor, magneziu, zinc. Pe această cale, elementele nutritive pătrunzînd în frunze intensifică procesul fotosintezei, mărește și modifică activitatea enzimelor. Stropirea frunzelor cu soluții de săruri cu azot orientează activitatea enzimelor spre sinteze, iar cu soluții ce conțin săruri de potasiu și fosfor, spre hidrolize.

O parte din substanțele administrate prin frunze circulă și spre alte părți ale plantei. Experiențele lui H. B. Tukey și S. H. Witwer (1955) cu potasiul și fosforul radioactiv (K^{42} și P^{32}) arată că atomii acestor elemente migrează din frunze spre tulpină, rădăcină, fructe, unde sînt folosiți în diferitele procese biochimice. Acest procedeu permite obținerea de sporuri substanțiale de recoltă la principalele plante de cultură.

In concluzie, sistemele de administrare a îngrășămintelor nu trebuie aplicate empiric, combinîndu-se la întîmplare elementele nutritive. Ele trebuie să corespundă cerințelor naturale ale plantelor, în perfectă concordanță cu necesitățile plantelor în cursul dezvoltării lor.

BIBLIOGRAFIE

1. Andronicescu, D., *Ghivecele nutritive*, în „Indrumări tehnice", București, 1955, nr. 56.
2. Ansiaux, R. I., *Quelques aspects récents de l'étude physiologique de la nutrition minerale des plantes*, în „Annales de Gembloux", 1954.
3. Avdonin, N. S., *Îngrășarea suplimentară a plantelor agricole*, (trad. din limba rusă), București, Ed. agro-silvică, 1955.
4. Barbier, A., *O teorie a difuziunii și pătrunderii masei de elemente nutritive asimilabile din sol*, în „Soil Science", Baltimore, 1962, nr. 1.
5. Bîlteanu, Gh., *Influența regimului de nutriție și umiditate asupra producției de bumbac*, (teză de disertație pentru obținerea titlului de candidat în științe agricole), București, Inst. agronomic „N. Bălcescu", 1955.
6. Bîlteanu Gh. și colab., *Contribuții la stabilirea perioadelor critice în nutriția minerală a porumbului*, Lucr. științ. ale Inst. agr. „N. Bălcescu", București, Ed. agro-silvică, 1961.
7. Bonner, J. și Galston W. A., *Principles of Plant Physiology*, San-Francisco, W. H. Freeman and Company, 1952.

Scanned with OKEN Scanner

8. Burgström, H., *Studii asupra creșterii și metabolismului rădăcinilor. Cercetări asupra efectului calciului,* (l. engleză), în „Physiol. plantarum" 1954, nr. 2.
9. Ceapoiu, N. și Itoafă, E., *Contribuții la stabilirea tehnicii de educare a hibrizilor de cînepă,* în Lucr. șt. ale Inst. agr. „N. Bălcescu", București, 1955.
10. Chirilei, H., *Cercetări privitoare la influența microelementelor Mn și Cu asupra metabolismului grîului de toamnă A-26,* în „Studii și cercetări de biologie (seria biologie vegetală)" București, 1960, vol. XII, nr. 4.
11. Chirilei, H. și Silli, El., *Contribuții la studiul influenței magneziului asupra repartiției și metabolismului apei celulare la plante,* în Lucr. șt. ale Inst. agr. „N. Bălcescu", București, Ed. agro-silvică, 1961.
12. Chirilei, H., Silli El. și Dvornic Valentina., *Contribuții la cunoașterea influenței magneziului asupra metabolismului plantelor de ovăz și soia, crescute în regimuri de umiditate diferite,* în Lucr. șt. ale Inst. agr. „N. Bălcescu", București, 1962, vol. VI, p. 249—259.
13. Davidescu, D., *Agrochimia,* București, Ed. agro-silvică, 1963.
14. Deleanu, T. N., *Metoda biometrică aplicată la studiul sărurilor minerale în viața plantelor,* în „Bul. culturii și fermentației tutunului", București, 1932, vol. XXI, nr. 2.
15. Deleanu, T. N., *Migrația negativă a substanțelor azotoase din frunze și chestiunea acumulării lor în tulpină sau rădăcină,* în „Memoriile Secției științifice", București, Acad. R.P.R., 1933, ser. III, t. IX, 9.
16. Demolon, A., *La croissance de végétaux,* Paris, Dunod, 1948.
17. Ferry Henry, D. Th. și Ward, Ph. D., *Fundamentals of Plants Physiology,* New York, The Macmillan Company, 1959.
18. Hoagland, D. R., *Anorganic nutrition of Plants,* U.S.A., Chronica Botanica Publishing Co., Wolthan, Wass, 1944.
19. Homès, V. M., *L'alimentation minérale des plantes et le problème des engrais chimiques,* Paris, 1953.
20. Hunger Singns in Crops., *A Symposium. Published by the American Society of Agronomy and the National Ferilizer, Association Washington,* Moscova (l. rusă), 1957.
21. Ionescu-Sișești, Gh., *Cercetări asupra principalelor tipuri de sol ale Romîniei prin metoda fiziologic-vegetală,* în „Anale I.C.A.R.", 1939, vol. XI, X.
22. Ionescu-Sișești Gh. și Vlahuță, Gh., *Starea de fertilitate și nevoia de îngrășăminte la cîteva tipuri de sol din Romînia,* Exp. din anii 1933—1938, prin metoda fiziologic vegetală, în „Anale I.C.A.R.", 1939, vol. XI, X.
23. Jurbițki, Z. I. și Strausberg, D. V., *Vlîianie temperaturî na pogloscenie fosfora i kalțiia rasteniami,* în DAN, S.S.S.R., 1954, vol. 96, nr. 5.
24. Pavlovski, Gh., *Despre absorbția compușilor organici pe suprafața sistemului radicular al plantelor,* în „Anale I.C.A.R.", 1947, vol. XXXI.
25. Peterburgski, A. V., *Absorbționnîe proțesei v pocive kornevoe pitanie rastenii,* în „Izv. Timiriazevskoi selskohoziaisvennoi Akademii", 1954, nr. 3.
26. Popescu, Șt., *Cercetări asupra regiunii absorbante a rădăcinii,* în „Bul. agric.", București, 1924, vol. IV, nr. 10—12.
27. Potapova, N. G., *O mineralrom pitanii pseniți v polevîh usloviah,* în DAN S.S.S.R., 1955, vol. 105, nr. 3.
28. Prianișnikov, N. D., *Trăsăturile esențiale ale metabolismului substanțelor azotate la plante,* în „Izv. A.N. S.S.S.R." seria biologie, 1945, nr. 2.
29. Radu, F. I., *Asupra absorbției cantitative a P_2O_5, K, CaO, și MgO de către diferite soiuri de porumb,* Berlin, Bodenkunde und Pflanzenernährung 2/27, vol. 1936/1937, caiet 5/6, (în l. germană).
30. Ratner, E. I., *Mineralnoe pitanie rastenii i poglotitelnaia spobnosti pociv,* Moscova, Izd-vo A. N. S.S.S.R., 1950.

Scanned with OKEN Scanner

31. Sabinin, D. A., *Fiziologhiceskie osnovî pitania rastenii,* Moscova, Izd-vo A. N. S.S.S.R., 1955.

32. Shropp, W. şi Arenz, B., *Über die Wirkung der Bors auf Möhren, Sinnenblumen und Buchweizen, Sonderdruck aus der Zeitschrift,* în „Bodenkunde u. Planzenernährung" 1940, 16 (61).

33. Shropp, W. şi Arenz, B., *Versuche mit Bor zu einigen Gramineen, Sonderdruck aus der Zeitschrift,* în „Bodenkunde u. Pflanzenernärung", 1940, 16 (61).

34. Zamfirescu, N., *Influenţa temperaturii asupra absorbţiunii substanţelor nutritive,* 1936.

35. Zamfirescu, N., Bîlteanu, Gh. şi Urtilă, Şt., *Influenţa temperaturii asupra absorbţiei fosforului la porumb, fasole, mazăre, determinată cu ajutorul fosforului radioactiv* (P^{32}), în „Studii şi cercetări de biologie", Bucureşti Acad. R.P.R., 1960, t. XII. nr. 1.

36. Zamfirescu, N. Bîlteanu, Gh. şi Urtilă, Şt., *Cercetări cu privire la influenţa temperaturii asupra absorbţiei fosforului la soia, bumbac, ricin, determinat cu ajutorul izotopului* P^{32}, în „Lucr. şt. Inst. agr." „N. Bălcescu", Bucureşti, Ed. agro-silvică, 1961, seria B.

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul IV

ASIMILAȚIA CARBONULUI DE CĂTRE PLANTE

Noțiuni introductive

Viața plantelor se caracterizează printr-o acumulare continuă de substanțe organice. Acestea nu se obțin direct sub formă lor definitivă din mediu, ci se creează în însăși corpul plantelor, datorită capacității lor de sinteză.

Plantele lipsite de clorofilă își produc substanțele lor organice proprii din alte substanțe organice mai simple, pe care le absorb din substraturile pe care ele trăiesc.

Plantele verzi își sintetizează substanțele organice din combinații mai simple minerale, pe care le găsesc în jurul lor în mediul exterior. Aceste substanțe reprezentate prin glucide, proteine, substanțe grase și diverși produși intermediari constituie ceea ce numin hrana vegetală. În sensul strict al cuvîntului, prin hrană vegetală se înțeleg acele substanțe organice care, prin oxidare în celulele vii, eliberează energia cuprinsă în ele și care este necesară întreținerii vieții, sau pot fi transformate în materie vie și membrane din care sînt alcătuite celulele.

Substanțele organice sintetizate de către plantele verzi sînt de o însemnătate esențială pentru celelalte viețuitoare. Animalele, plantele fără clorofilă nu sînt capabile să sintetizeze substanțe organice din substanțe neorganice minerale, de aceea ele obțin aceste substanțe prin utilizarea hranei vegetale sau animale.

În sinteza substanței organice, carbonului îi revine o sarcină deosebită. S-a demonstrat pe cale chimică că el intră într-o măsură atît de mare în compoziția substanțelor organice, încît acestea au fost numite și compuși ai carbonului. Ele sînt rezultatul asimilării carbonului pe care plantele îl iau din mediu sub diferite forme, a apei și a unor substanțe minerale.

Plantele verzi, întrucît își produc singure hrana organică din substanțe anorganice, se numesc autotrofe (autos=singur; trepho=a hrăni), iar fiindcă în sinteza substanțelor organice folosesc energie solară se mai numesc și autotrofe fotosintetizante (fotos=lumină).

La grupul plantelor autotrofe aparțin și anumite microorganisme (bacterii). Acestea, fiindcă folosesc pentru sintetizarea substanțelor organice din substanțele anorganice (bioxid de carbon, apă și unele săruri minerale)

Scanned with OKEN Scanner

energie chimică, pe care şi-o procură din oxidarea anumitor substanţe minerale, se numesc autotrofe chimiosintetizante.

Toate celelalte organisme vegetale, deoarece îşi produc substanţele organice proprii cu ajutorul energiei chimice, pe care şi-o procură oxidînd substanţe organice gata preparate cuprinse în alimente, se numesc heterotrofe (heteros=diferit ; trepho=a hrăni).

In zilele noastre, cele mai răspîndite plante sînt cele fotosintetizante, adică plantele verzi. Ele, prin faptul că captează energie solară şi o depozitează sub formă transformată de energie chimică în substanţele pe care le sintetizează, desfăşoară o activitate cosmică, joacă un rol de „intermediar între viaţa de pe pămînt şi Cosmos" (K. A. Timireazev).

Însuşirea plantelor verzi de a sintetiza substanţe organice bogate în energie din substanţe anorganice lipsite sau sărace în energie, cum sînt bioxidul de carbon, apa şi unele săruri minerale, este rezultatul unei îndelungate evoluţii de sute de milioane de ani.

Plantele verzi nu sînt primele organisme autotrofe care au apărut pe pămînt. Primele organisme care au apărut pe pămînt au fost heterotrofele. Acestea au folosit pentru nutriţia lor substanţe organice sintetizate pe cale abiogenă. Apoi au apărut autotrofele chimiosintetizante, urmate de autotrofele fotosintetizante monocelulare (bacterii, apoi alge monocelulare), şi după aceea au apărut şi autotrofele fotosintetizante pluricelulare, care au luat o mare extindere, cucerind toate oceanele şi mările, şi apoi uscatul.

Apariţia plantelor autotrofe fotosintetizante a reprezentat saltul calitativ cel mai important în evoluţia ulterioară a vieţii. Atmosfera, care pînă la apariţia lor era extrem de săracă în oxigen liber (sau poate complet lipsită de oxigen liber), dar bogată în bioxid de carbon, a început să-şi schimbe compoziţia. Datorită plantelor verzi care eliminau în atmosferă torente de oxigen liber în locul bioxidului de carbon absorbit din aer, atmosfera primară a devenit treptat din reducătoare, oxidantă. Acest fapt a dat impuls evoluţiei rapide a vieţii animale şi vegetale pe pămînt.

A. FOTOSINTEZA

1. Consideraţii generale asupra fotosintezei

Este acceptat în general faptul că plantele verzi îndeplinesc cel mai important rol în natură, unic în felul său. Importanţa plantelor verzi constă în aceea că ele sintetizează substanţe organice bogate în energie din substanţe anorganice lipsite sau sărace în energie : bioxid de carbon, apă şi cîteva săruri minerale (cu azot şi sulf).

Deoarece plantele verzi sintetizează substanţe organice din substanţe anorganice numai în prezenţa luminii (cu ajutorul energiei luminoase), procesul a primit denumirea de *fotosinteză*.

Fotosinteza este principalul proces de pe planeta noastră în care se creează substanţe organice din substanţe minerale şi se produce oxigen liber (O_2) care, degajat de plante în atmosferă, o reîmprospătează şi o menţine mereu prielnică pentru respiraţie.

Scanned with OKEN Scanner

Fenomenul eliminării oxigenului de către plantele verzi a jucat un mare rol în descoperirea asimilării carbonului și sintezei substanțelor organice. În cei 193 de ani care au trecut de la descoperirea procesului de către Priestley (1771), studiile care s-au făcut de către cercetătorii din diferitele țări, inclusiv din țara noastră, au dus la stabilirea unor fapte de însemnătate esențială : 1) reacțiile care stau la baza transformării substanțelor anorganice (bioxidul de carbon, apa etc.) în substanțe organice ; 2) corelația dintre energia luminoasă și planta verde ; 3) corelația dintre procesul de fotosinteză și diferiții factori externi și interni etc.

Substanțele organice care se sintetizează în procesul de fotosinteză sînt reprezentate, în special, prin glucide : zaharuri (glucoză, fructoză) și amidon. Din aceste substanțe bogate în energie (ele includ energie solară transformată în energie chimică), celulele vii ale altor organe lipsite de clorofilă, pot sintetiza alte substanțe cum sînt protidele, substanțele grase, vitaminele etc., absolut necesare vieții lor. Acestea constituie și sursa de energie pentru toate organismele vii — lipsite de clorofilă — plante și animale.

2. Metodele de studiu ale fotosintezei

Metodele de studiu ale fotosintezei sînt numeroase. Unele dintre ele se bazează pe schimbul de gaze (absorbția CO_2 și eliminarea O_2), iar altele pe măsurarea cantității de substanță organică acumulată într-un interval de timp dat în timpul zilei.

a. *Metode calitative*

La plantele submerse (care trăiesc în apă), punerea în evidență a procesului se bazează pe observarea eliminării oxigenului în locul bioxidului de carbon absorbit. În acest scop, o metodă bună este aceea a observării bulelor de oxigen care se degajă de pe suprafața plantelor (alge, *Elodea* etc.).

O altă metodă este aceea a bacteriilor oxigenofile (metoda Engelmann). Într-o picătură dintr-o infuzie ce conține bacterii aerobe (*Bacterium termo, Bacillus subtilis*) și care se află pe o lamă de sticlă se pune un fir de algă verde. Se acoperă apoi alga cu o lamelă de sticlă care, pe margini, se parafinează. În aceste condiții, asimilînd, alga absoarbe CO_2 și elimină O_2. Bacteriile care la început erau uniform răspîndite în cîmpul microscopului, se adună din ce în ce mai mult în jurul firului de algă, deoarece aici se găsește cantitatea de oxigen necesară respirației lor (fig. 58).

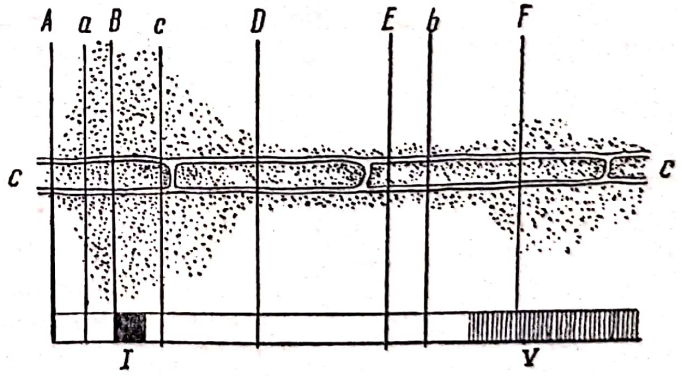


Fig. 58. Punerea în evilență a fotosintezei la algele verzi după Engelmann :
c — firul de algă în jurul căruia se îngrămădesc bacteriile

La plantele terestre, punerea în evidență a procesului

Fig. 59. Experienţă pentru demonstrarea asimilării bioxidului de carbon din aer după oxigenul eliminat care aprinde bagheta de fosfor

fotosintezei se face după oxigenul degajat în locul bioxidului de carbon absorbit (fig. 59), care se pune în evidenţă cu ajutorul unei baghete de fosfor. Acesta, pus sub clopotul unde se află planta, se aprinde cînd oxigenul atinge o anumită concentraţie. La aceste plante, fotosinteza se mai poate pune în evidenţă şi după natura produsului acumulat în organul verde (metoda colorării cu iod).

b. *Metode cantitative*

Pentru determinarea intensităţii fotosintezei la plantele de apă se foloseşte metoda Winkler. Această metodă se bazează pe dozarea chimică a oxigenului eliminat de planta verde într-un volum determinat de apă.

Pentru măsurarea intensităţii fotosintezei la plantele terestre se folosesc diferite metode: unele bazate pe schimbul de gaze (metode gazometrice), altele pe cantitatea asimilatelor acumulate (metode gravimetrice). Există şi metode chimice care permit aprecierea intensităţii fotosintezei după cantitatea de carbon acumulat, precum şi metoda atomilor marcaţi.

O metodă bună care permite măsurarea intensităţii fotosintezei după cantitatea de CO_2 absorbită de un organ verde (de exemplu, o frunză) este aceea a lui Krasnoselski, Richter şi Ordonian (fig. 60). Frunza se ţine în recipientul A, peste care se trece un curent de aer într-un timp dat.

O metodă gazometrică, mult mai simplă şi care poate fi folosită uşor pe teren, este cea reprezentată în figura 61. Se ia o ramură cu frunze sau o singură frunză şi se ţine 5—10 minute la lumină într-un vas transparent de 1,2—1,5 litri, bine închis cu un dop de cauciuc şi în care se află un termometru. După ce se scoate repede frunza, se introduce în acelaşi vas o cantitate cunoscută de soluţie de $Ba(OH)_2$ n/40, care, în aproximativ o oră, absoarbe din aerul din vas toată cantitatea de CO_2 nefolosită de plantă. Se face apoi analiza soluţiei de $Ba(OH)_2$ cu o soluţie de HCl n/40. Concomitent se experimentează trei vase identice, dintre care unul serveşte pentru determinarea intensităţii fotosintezei, al doilea pentru determinarea CO_2 din aerul obişnuit închis în vas, dar fără frunză, iar al treilea vas pentru determinarea intensităţii respiraţiei, care ne ajută la calculul erorilor.

O altă metodă gazometrică pentru determinarea fotosintezei este aceea a lui Warburg (fig. 62). Cu ajutorul aparatului ermetic închis se măsoară intensitatea fotosintezei prin modificarea presiunii atmosferice, modificare provocată de absorbţia CO_2 şi eliminarea O_2. Prin această metodă se măsoară cu uşurinţă şi respiraţia.

Scanned with OKEN Scanner

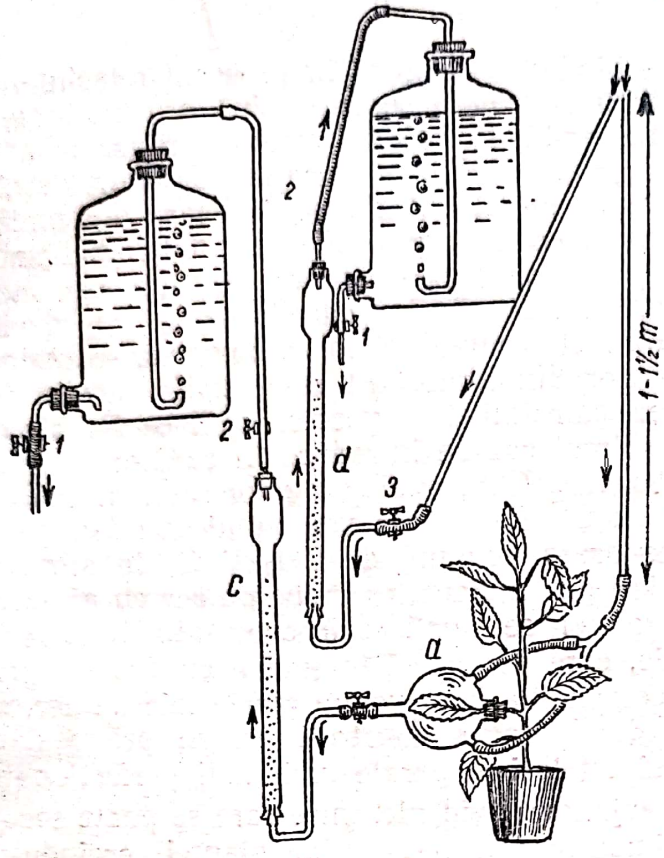


Fig. 60. Aparatul Krasnoselski-Ordonian-Richter pentru determinarea fotosintezei în curent de aer:

a — camera de asimilație; *c* și *d* — tub absorbant pentru CO_2 (după Skazkin)

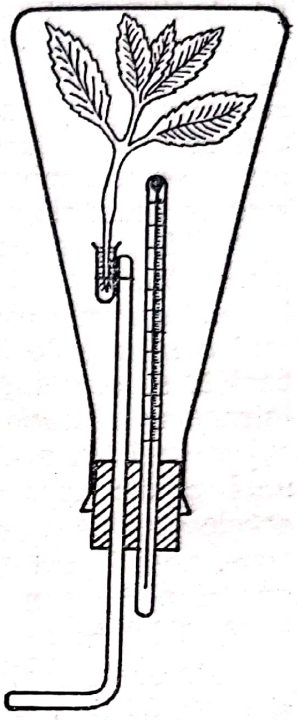


Fig. 61. Determinarea intensității fotosintezei după metoda Ivanov (după B. A. Rubin)

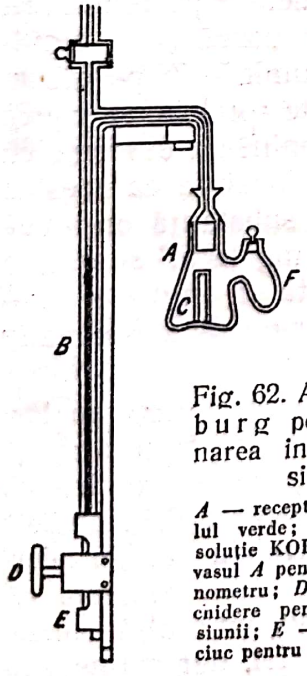


Fig. 62. Aparatul Warburg pentru determinarea intensității fotosintezei:

A — receptor pentru materialul verde; *C* — tubușor cu soluție KOH; *F* — anexă la vasul *A* pentru HCl; *B* — manometru; *D* — robinet de închidere pentru reglarea presiunii; *E* — rezervor de cauciuc pentru lichidul manometric

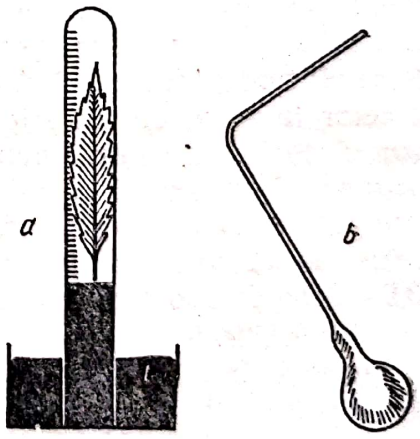


Fig. 63. Eudiometru pentru determinarea fotosintezei (*a*). Pipeta cu care se scoate aer din tub pentru analiză (*b*). Din manualul de lucrări practice de Skazkin

Un tablou mai complet al schimbului de gaze în procesul fotosintezei se obține prin metoda eudiometrului, cu care se determină atît cantitatea de O_2 eliminată, cît și de CO_2 absorbită. În această metodă, frunza plantei se introduce într-un tub de sticlă gradat, închis la un capăt. Capătul deschis al tubului se introduce într-un vas cu mercur. Astfel se limitează o anumită cantitate de aer în care se cunoaște concentrația CO_2 (fig. 63). Eudiometrul se expune la lumină, și după un timp oarecare (1, 2, 3 ore sau mai mult) se determină cantitatea de CO_2. Comparînd cantitatea de CO_2 dispărută în acest timp și cantitatea de O_2 acumulată în eudiometru, se obține o imagine completă a schimbărilor din atmosfera respectivă, cauzate de activitatea frunzei. Determinarea cantitativă a gazelor se face fie direct în eudiometru sau indirect. În primul caz se introduce în eudiometru mai întîi o soluție de KOH, care absoarbe CO_2, apoi pirogalol care, în soluție bazică, se combină foarte ușor cu O_2. Reducerea volumului gazelor, după introducerea fiecărui reactiv, ne arată volumul de CO_2 și O_2 la sfîrșitul experienței. În al doilea caz se iau din eudiometru probe de aer cu ajutorul unei pipete speciale pentru gaze și se analizează conținutul în CO_2 în aceste probe, în aparate speciale, care permit să măsurăm cu destulă precizie, pînă la sutimi de miimi, compoziția unui volum foarte mic de aer, ce nu trece de 1 cm^3. Un astfel de aparat a construit pentru prima dată K. A. Timireazev. Astăzi sînt folosite aparate mult mai perfecționate.

Metodele gaziometrice au neajunsuri evidente, între care se poate socoti și acela că de multe ori se schimbă mediul natural al plantei, creindu-se condiții artificiale nedorite.

Dintre metodele bazate pe măsurarea cantitativă a substanțelor organice acumulate de către plante în procesul fotosintezei, menționăm metoda jumătăților de frunză a lui I. Sachs, modificată. Metoda constă în luarea, cu ajutorul unui perforator de dopuri, dimineața devreme, de pe jumătatea unei frunze, de rondele care duse apoi în laborator, se usucă și se cîntăresc; cealaltă jumătate de frunză rămîne intactă, la lumină. După cîteva ore, la prînz sau seara, se scot și de la această jumătate rondele, se usucă și se cîntăresc. Comparînd greutatea rondelelor luate dimineața devreme cu a celor luate în cursul zilei la amiază sau seara, vom constata că acestea vor cîntări mai mult. Diferența exprimă cantitatea de substanță organică acumulată în timpul zilei. Ea se exprimă în grame sau mg la m^2 suprafața frunză/oră. Determinările făcute cu această metodă arată că frunzele plantelor de cultură, la lumină puternică acumulează într-o oră aproximativ 0,5—0,9 g de substanță uscată la m^2 suprafață foliară.

În realitate, cifrele obținute sînt mai mari, deoarece în frunză au loc, în același timp cu fotosinteza, încă două procese: 1) procesul transportului produselor asimilației din frunză în tulpină, fructe; 2) procesul respirației, care constă din oxidarea permanentă a substanțelor organice. Prin ambele procese, frunza pierde substanță uscată. Dacă facem corecția acestor pierderi de substanță uscată din timpul experienței, atunci vom constata că cifrele asimilației sînt mult mai mari. Corecția se face folosind o altă frunză, asemănătoare ca mărime cu prima, pe care o tratăm la fel, dar o ținem la

întuneric. Ca cifră medie se poate considera 1—2 g de substanță uscată asimilată într-o oră de o suprafață de 1 m^2 frunză, vara.

În zilele noastre, cercetări asupra fotosintezei se fac mai ales cu metode bazate pe folosirea atomilor marcați. Se procedează ca și în cazul metodei curentului de aer, prezentată în figura 60, cu deosebirea că de astă dată aerul trecut prin frunză conține o cantitate mică de CO_2, în care carbonul e radioactiv (C^{14}). Măsurînd radioactivitatea aerului înainte și după trecerea lui peste frunză, se constată că după ce trece peste frunză, radioactivitatea lui scade, pentru că o parte din CO_2 a fost absorbită de frunză și folosită în procesul fotosintezei împreună cu CO_2 obișnuit, neradioactiv. După scăderea radioactivității se poate aprecia cantitatea de CO_2 absorbită într-un timp dat. Se poate proceda și altfel, și anume măsurînd radioactivitatea frunzei. Bioxidul de carbon radioactiv absorbit e folosit la producerea substanțelor organice, și ca urmare frunza devine radioactivă. După gradul de radioactivitate al frunzei se poate evalua cantitatea de substanțe organice produse în procesul fotosintezei. Această metodă are avantajul că carbonul radioactiv, păstrîndu-și radioactivitatea un timp foarte îndelungat, analiza radioactivității frunzelor se poate face cu mult mai tîrziu după terminarea experienței.

Metoda izotopilor prezintă o importanță cu totul excepțională pentru descifrarea celor mai rapide reacții ale fotosintezei. Este vorba îndeosebi despre reacțiile de fotosinteză, în care viteza extraordinară este asociată cu complicația întregului complex de reacții care survin în urma actului elementar primar, și anume absorbția luminei.

Dar aplicarea metodei izotopilor radioactivi la studiul asimilării bioxidului de carbon de către plantă nu s-a limitat numai la îmbogățirea cunoștințelor noastre cu date noi privitoare la faza fotochimică și la asimilarea bioxidului de carbon din atmosferă. Cu ajutorul acestei metode s-a putut stabili că plantele, paralel cu asimilarea bioxidului de carbon din atmosferă, asimilează și bioxid de carbon primit prin sistemul radicular. Tot metoda izotopilor radioactivi a permis să se dovedească că cloroplastele, considerate înainte ca purtători de clorofilă, ca unică funcție de a participa în fotosinteză, sînt sediul concentrării unui mare număr de diferite enzime.

3. Sursele de carbon pentru plante

Dintre elementele utilizate de către plantele verzi pentru sinteza glucidelor și altor substanțe organice, cel mai important este carbonul. Fără carbon nu poate fi sintetizată nici o substanță organică. Numeroasele observații și experiențe arată că plantele își iau carbonul din aer sub formă de CO_2, în care se găsește în proporție de 0,03%. Această combinație gazoasă incoloră a carbonului se dizolvă relativ ușor în apă și se formează acid carbonic.

$$\underset{\text{Bioxid de carbon}}{CO_2} + \underset{\text{Apă}}{H_2O} \rightarrow \underset{\text{Acid carbonic}}{H_2CO_3}$$

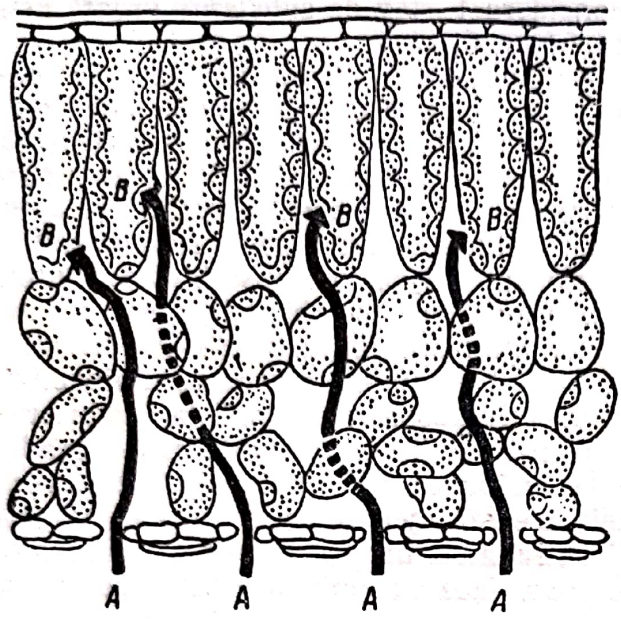


Fig. 64. Pătrunderea bioxidului de carbon prin stomatele frunzei. Drumul este indicat prin săgeți (după Nelson)

În această legătură, adică de acid carbonic, bioxidul de carbon se întîlnește în atmosferă, în care există cantități variabile de apă sub formă de vapori. Din acest motiv unii obișnuiesc să spună că plantele iau din atmosferă carbonul sub formă de acid carbonic.

Pătrunderea bioxidului de carbon din aer în planta verde este un proces destul de complicat. Se știe că frunzele sînt înzestrate cu o cuticulă destul de groasă, care împiedică aproape complet pătrunderea vaporilor de apă ; cu atît mai dificilă este pătrunderea bioxidului de carbon. Se pare că aceleași piedici provoacă o limitare a pătrunderii acestui gaz în plantă, cît și a eliminării apei din plantă. Căile de pătrundere a bioxidului de carbon din aer sînt stomatele. Cunoaștem funcția extrem de importantă a acestora pentru eliminarea apei ; ele reglează regimul de apă al plantei și absorbția elementului de bază care ocupă un loc de frunte între celelalte substanțe nutritive. Bioxidul de carbon circulă în plantă în direcție opusă vaporilor de apă, adică de la exterior spre interior (fig. 64).

În timp ce vaporii de apă ajung din celule în spațiile intercelulare, și de aici ajung în camera substomatică, difuzînd apoi în atmosferă, bioxidul de carbon ajunge tocmai în sens invers prin aceste spații intercelulare în apropierea celulelor. Astfel, bioxidul de carbon se răspîndește în întreaga frunză și este disponibil tuturor celulelor care îl necesită.

Cercetările recente ale lui A. L. Kursanov arată că plantele terestre absorb prin rădăcinile lor carbonul din soluția solului sub formă de HCO_3^-, CO_3^{--}. Din soluția solului, plantele absorb pînă la 25% din carbonul necesar. Tot sub această formă își iau carbonul și plantele de apă ; acesta pătrunde în interiorul plantelor prin toată suprafața corpului lor.

În urma asimilării carbonului, 95% și chiar mai mult din greutatea uscată a plantei rezultă din bioxidul de carbon asimilat, și numai aproximativ 4% din substanțele absorbite din sol.

În organele verzi (frunze, tulpini), acidul carbonic pătrunde prin difuziune, prin membrana celulelor, adică pe aceeași cale cu apa și cu celelalte substanțe. Numai în aceste celule poate fi asimilat. Dar pentru aceasta sînt absolut necesare anumite condiții.

Scanned with OKEN Scanner

4. Condițiile necesare asimilării bioxidului de carbon

Asimilarea carbonului din acidul carbonic și sinteza substanțelor organice (glucidelor) din substanțe anorganice nu poate avea loc în plantă decît atunci cînd sînt îndeplinite două condiții esențiale: 1) planta trebuie să primească lumină; 2) planta să aibă plastide verzi capabile să absoarbă energie luminoasă. Ne putem convinge de necesitatea celor două condiții dacă efectuăm următoarele experiențe: dintr-o bucată de hîrtie de staniol decupăm o figură, o literă. Cu această bucată de hîrtie acoperim cît mai bine o frunză verde și lăsăm planta să stea 3—4 zile la lumină, menținînd însă condițiile obișnuite. După scurgerea timpului, tăiem frunza acoperită, o eliberăm de învelișul ei și o decolorăm prin fierbere cu alcool și apoi o introducem într-o soluție de iod, în iodură de potasiu. Vom constata că numai acolo unde a putut pătrunde lumina datorită figurei decupate, frunza s-a colorat în albastru, culoare pe care o dă amidonul ce s-a sintetizat; părțile acoperite au rămas necolorate.

Din această experiență putem constata două lucruri: pentru asimilarea bioxidului de carbon și sinteza substanțelor organice sînt absolut necesare lumina și substanța verde din frunză. Să ne ocupăm mai îndeaproape de acești doi factori.

a) *Energia luminoasă.* Lumina este o formă a energiei radiante. Izvorul acestei energii pe pămînt este soarele. Această energie se propagă de la aproximativ 150 000 000 km, distanță care separă pămîntul de soare.

Au trecut mulți ani de cînd s-a făcut dovadă că „lumina albă" a soarelui este un amestec de raze colorate. Trecîndu-se un fascicul de lumină printr-o prismă de sticlă, aceasta s-a separat în benzi colorate aranjate ca în curcubeu de la roșu spre portocaliu, galben, verde, albastru, indigo și violet. Acesta s-a numit *spectrul vizibil* din cauză că poate fi văzut cu ochiul liber.

Mai tîrziu s-a arătat că lumina este transmisă în spațiu ondulatoriu ca unde. S-a stabilit că lumina roșie are lungimea de undă (λ) cea mai lungă. Lungimea de undă a unei astfel de lumini este cuprinsă între 650 și 760 milimicroni. Lumina violetă are lungimea de undă cea mai scurtă, lungimea unei unde fiind cuprinsă între 390—430 milimicroni. Lungimile de undă ale celorlalte lumini sînt cuprinse între extremele arătate (fig. 65).

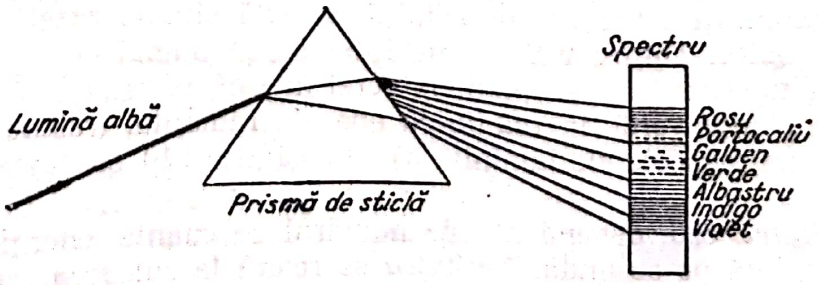


Fig. 65. Spectrul luminii solare obținut prin descompunerea luminii cu ajutorul unei prisme de sticlă

Cînd însă s-au făcut din partea oamenilor de știință eforturi pentru explicarea efectului luminii asupra hîrtiei fotografice, s-a găsit că mișcarea luminii prin spațiu nu poate fi explicată numai pe baza undelor. Aceste eforturi, la care s-au adăugat și unele observații, au stabilit că lumina este transmisă prin spațiu sub formă de particule de energie, numite fotoni.

Cercetările care au urmat au arătat că energia acestor fotoni variază. Lumina roșie, din stînga spectrului, cu lungimea de undă cea mai mare, are valoarea energiei fotonilor cea mai mică ; pe de altă parte, lumina violetă, care ne este cunoscută că are lungimea de undă cea mai mică, este compusă din fotoni cu valoarea energiei cea mai mare. Valoarea energiei celorlalte lumini, cuprinse între extreme, este intermediară. În tabelul 16 este trecută valoarea energetică a fotonilor diferitelor radiații luminoase ale spectrului solar.

Tabelul 16

Radiațiile luminoase ale spectrului solar și energia pe care o conțin

Felul radiației	Lungimea de undă în mμ	Energia unei cuante, în ergi	Energia unei Mol cuante, în kcal
Extremul roșu	800	$24{,}4 \cdot 10^{-13}$	35,5
Portocaliu	600	$32{,}7 \cdot 10^{-13}$	47,0
Roșu	700	$28{,}0 \cdot 10^{-13}$	41,0
Verde	500	$39{,}2 \cdot 10^{-13}$	57,0
Violet	400	$49{,}0 \cdot 10^{-13}$	71

Valoarea energiei radiațiilor de diferite culori este exprimată în „cuante" de energie. Un foton are o cuantă de energie, însă valoarea energiei cuantei crește de la roșu la violet. Pe scurt, valoarea energiei luminii violete este încă o dată valoarea energiei luminii roșii.

Spectrul vizibil reprezintă numai o mică parte a spectrului solar. Dincolo de roșu sînt radiațiile invizibile cunoscute sub numele de radiații infraroșii (calorice) și radiațiile electromagnetice (radio, radar). În afara violetului sînt radiațiile invizibile cunoscute sub numele de raze ultraviolete (chimice), mai bogate de 4 ori în energie decît radiațiile violete și de 8 ori decît cele roșii. În afara ultravioletului, se află situate razele X, razele γ și razele cosmice. Dintre radiații ne interesează numai cele vizibile, căci acestea sînt folosite de către plantele verzi în sinteza hranei organice. Cînd considerăm planta verde în relație cu energia radiantă, trebuie să luăm în considerare trei aspecte ale luminii : a) intensitatea ; b) calitatea ; c) durata de acțiune.

Intensitatea este dependentă de numărul de cuante energie, ce izbesc o suprafață dată pe secundă. *Calitatea* se referă la culoarea radiațiilor din care este alcătuită lumina albă ; *durata* se referă la numărul de ore de iluminare pe zi la care planta este expusă, fiind frecvent numită fotoperioadă.

Scanned with OKEN Scanner

Sînt așa-zise plantele de zi lungă, care înfloresc numai dacă primesc peste 12½ ore pe zi lumină. Altele, așa-zise plante de zi scurtă, înfloresc numai cînd primesc mai puțin de 12 ore lumină pe zi. Există și plante care nu reacționează de loc la durata de acțiune a luminii. Acestea sînt așa-zisele plante neutre.

b) *Cloroplastele și pigmenții verzi.* Este acceptat în general că fotosinteza la plantele superioare are loc numai în cloroplaste, fiindcă numai ele sînt structurile celulei care conțin pigmenți verzi necesari fotosintezei. Cu toate că s-a demonstrat că fotosinteza poate avea loc și în cloroplastele izolate din celulă și că în consecință nu este absolut necesară prezența protoplasmei pentru procesul de fotosinteză, totuși, în natură fotosinteza are loc numai în celulele vii ce conțin clorofilă.

Toate organele sau țesuturile unei plante dacă sînt verzi, adică dacă au clorofilă, fac fotosinteză, însă adaptate și, totodată, specializate pentru îndeplinirea acestei funcții sînt frunzele.

Din studiul anatomiei vegetale se știe că aceste organe au la exterior un țesut protector (epiderma superioară și inferioară), care prezintă numeroși pori microscopici (ostiolele stomatelor), iar în interior mezofilul, constituit din două țesuturi verzi — țesutul palisadic sub epiderma superioară și țesutul lacunos sub epiderma inferioară. Mezofilul este brăzdat în toate direcțiile de fascicule libero-lemnoase, prin care celulele celor două țesuturi sînt aprovizionate cu apă și săruri minerale nutritive. Acestea sînt nervurile (fig. 66).

Celulele verzi ale țesutului palisadic și ale țesutului lacunos sînt laboratoarele în care se realizează producerea substanțelor organice din bioxidul de carbon care a pătruns din aer prin stomatele frunzei și din apă, și sărurile care au fost transportate de la rădăcină și pe care plantele le absorb din mediu. Sediul procesului de fotosinteză sînt cloroplastele din celulele celor două țesuturi. Numărul cloroplastelor pe celulă variază de la o specie la alta de plantă. La plantele superioare pot exista între 20—100 de cloroplaste pe celulă, la cele inferioare și cîte unul.

În mod obișnuit, cloroplastele din celulele plantelor superioare au formă de disc, cu diametrul cuprins între 4 și 6 microni, și grosimea de aproximativ 2 microni.

În cloroplaste se găsesc granule fotosintetizante numite „grana", dispersate la suprafața masei cloroplastului, numită *stroma* sau *matrix*. Corpul propriu-zis al cloroplastului cuprinde, în proporție destul de ridicată, apă (între 55—80%), cantități mici de vitamina C, vitaminele E și

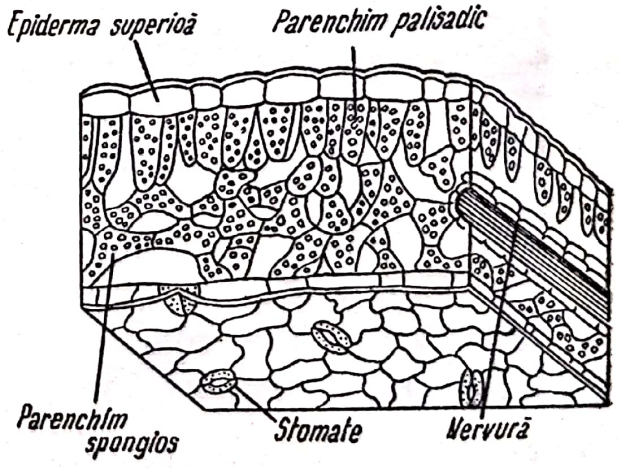


Fig. 66. Secțiune transversală printr-o frunză de floarea-soarelui (după N. A. Maksimov)

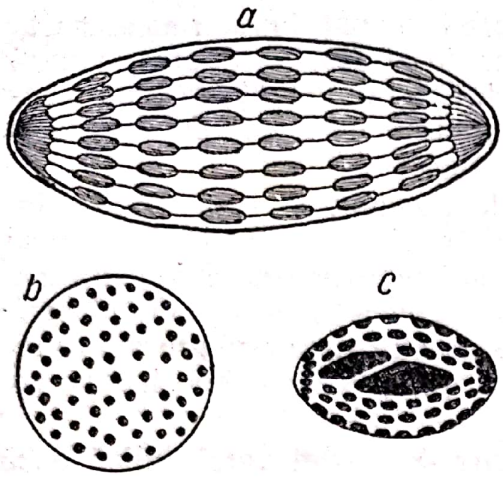
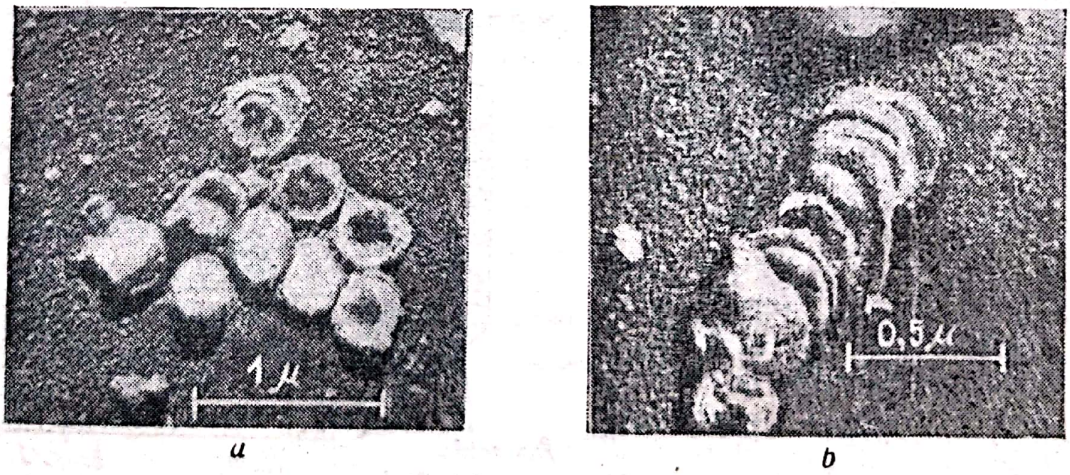


Fig. 67. Schema unui cloroplast de *Dracaena deremensis*:

a — cloroplastul văzut din profil cu granulele de clorofilă; *b* — văzut din față; *c* — văzut din profil, granulele de clorofilă în negru (după Strugger)

K, un număr însemnat de enzime hidrolizante (invertaza, fosforilaza) și de enzime respiratorii (dehidraza, peroxidaza, catalaza etc.), dintre care unele sînt mai mult sau mai puțin legate de materia matrixului, iar altele sînt libere. N. M. Sisakian a găsit în cloroplastele sfeclei de zahăr și tutunului cantități apreciabile de acid ribonucleic și acid desoxiribonucleic. Structura submicroscopică a granulei fotosintetizante nu este încă pe deplin lămurită. S-au putut totuși stabili că o singură grană conține mai mult de 1 milion de molecule de clorofilă. Aceste grane se prezintă sub forma unor cilindri lățiți (fig. 67) care sînt formate dintr-un teanc de discuri rotunde a căror grosime este cuprinsă între 1—2 sutimi de miimi de milimetru. Cu ajutorul microscopului electronic s-au putut observa între 2—3 duzini de discuri circulare pe microfotografiile electronice (fig. 68). O granulă, după toate probabilitățile, este o pilă de discuri circulare, al căror înveliș este de natură proteică (cuprinde proteină globulară). Prezența discurilor a putut fi pusă în evidență de către Frey-Wyssling și Steinmann prin adăugare de apă distilată unei suspensii de granule. Apa, pătrunzînd în spațiul dintre cele două membrane proteice, provoacă umflarea lor.

După toate probabilitățile, în granulă, clorofila se găsește localizată între cele două mebrane proteice, asociate cu molecule de lipoide, sub forma unui strat monomolecular. Cercetările din 1957, făcute de A. O. Osipova, arată că moleculele de clorofilă se găsesc în mod sigur legate cu proteinele prin nucleul cromogen porfirinic, cu lipoidele prin fitol. La mijlocul com-



a *b*

Fig. 68. Microfotografie electronică în care se văd granule de clorofilă din frunzele de porumb *(Zea mais)*:

a — granule de diferite grosimi; *b* — granule de clorofilă desfăcut în discuri (după Vatter)

plexului lipoido-clorofilo-proteic s-ar găsi carotinoizi (fig. 69). Se poate presupune că acest aranjament al moleculelor de clorofilă este consecința adaptării pentru asigurarea schimbului de energie, a cărei importanță este așa de mare în mecanismul cinetic al fotosintezei.

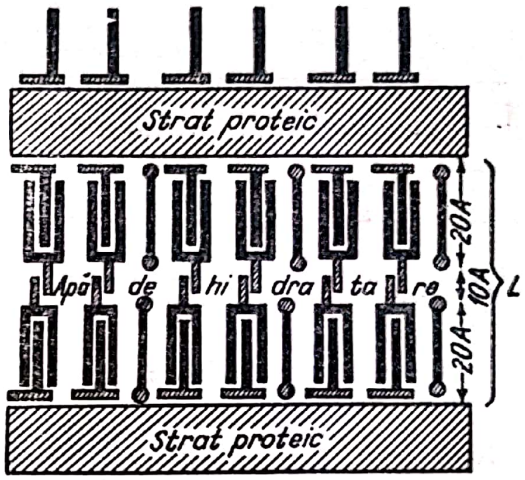


Fig. 69. Schema structurii cloroplastelor. Grupurile hidrofile sînt haşurate, cele lipofile, înnegrite. Figurile în forma literei T reprezintă molecule de clorofilă; cele în furșetă, molecule de lipoide; cele în haltere, molecule de carotinoide (după H u b e r t)

În general, procesul fotosintetic este asociat cu clorofilele, însă alți pigmenți sînt prezenți în grana cloroplastelor, pe care îi putem cunoaște dacă îi extragem din organele verzi.

Dacă frunzele verzi se încălzesc în alcool etilic, metanol, eter, acetonă sau cloroform, se obține un extract verde de clorofilă. Prin adăugare de eter de petrol peste extractul alcoolic și agitare, dacă se lasă extractul să stea în repaus între 5 și 10 minute, în acesta se separă două straturi: a) unul superior de culoare verde albastru; b) altul inferior de culoare verde-gălbui. O ulterioară separare prin mijloace chimice permite izolarea din extractul de clorofilă a doi pigmenți verzi: *clorofila a* și *clorofila b*, precum și doi pigmenți galbeni, carotina sau carotenul și xantofila. Primii doi pigmenți sînt cunoscuți sub denumirea de clorofilă, pe cînd carotenul și xantofila sub denumirea de carotinoide.

Clorofilele nu sînt solubile în apă, fapt ce explică de ce extragerea și separarea lor nu-i posibilă decît cu ajutorul solvenților organici. O metodă mai recentă de separare a pigmenților din frunze, extrași în acetonă și dizolvați în eter de petrol, este cea cromatografică. Ea constă din trecerea soluției de eter de petrol printr-un strat adsorbant de oxid de magneziu conținut într-un tub de sticlă.

Crearea în tub a unui slab vid care să ușureze mișcarea pigmenților prin coloană permite o splendidă și distinctă separație a celor patru pigmenți sub forma unor benzi orizontale.

Clorofila b se întîlnește numai la plantele verzi superioare, pe cînd *clorofila a* este prezentă și la plantele inferioare (alge), alături de *clorofila c* (algele brune), și de *clorofila d* (algele roșii).

Cantitatea celor două clorofile, raportată la greutatea proaspătă existentă în frunzele celor mai multe plante, este cuprinsă între 0,10—1,45%, însă concentrația lor în cloroplaste este de 4—5 ori mai mare decît în greutatea totală a frunzei. Mușchii și algele care trăiesc în condiții de lumină de intensitate slabă conțin o cantitate mai mare de clorofilă, care poate ajunge pînă la 2% pentru greutatea proaspătă. În tabelul 17 sînt trecute caracteristicile celor patru pigmenți din frunze.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 17

Comparația pigmenților din cloroplaste

Pigmentul	Greutatea moleculară	Culoare în soluție	Frecvența
Clorofila a	$C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$	Albastră-verde	În toate țesuturile verzi ale plantelor
Clorofila b	$C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$	Verde sau verde galben	În toate țesuturile verzi ale plantelor
Carotenul (provitamina A)	$C_{40}H_{56}$	Portocaliu-roz	În toate țesuturile verzi și în cele fără clorofilă
Xantofila	$C_{40}H_{56}O_2$	Galben strălucitoare	În toate țesuturile verzi și în multe lipsite de culoare verde

Clorofilele, pigmenți care permit utilizarea energiei solare, reprezintă, ca și hemul hemoglobinei, un nucleu tetrapirolic, dar atomul care stabilește legătura între nucleul tetrapirolic și globină nu este fierul (ca la hem), ci magneziul. Clorofilele reprezintă gruparea prostetică a unei proteine, numită cloroglobină sau cloroplastină.

5. Factorii de care depinde formarea clorofilelor și a carotinoidelor

K. A. Timireazev a arătat că în plantulele ce cresc la întuneric, numite etiolate, se formează în afară de carotină și xantofilă, un pigment cu o fluorescență roșie și cu un spectru de absorbție apropiat de al clorofilei. Acest pigment a fost numit de N. A. Monteverde *protoclorofilă*. Seybold și Egel au arătat că se formează la întuneric două protoclorofile, care la lumină se transformă ușor în clorofilele corespunzătoare.

a) Elementele minerale absolut necesare pentru sinteza clorofilelor sînt: C, H, O, N și Mg. Ele intră în compoziția chimică a moleculei acestor pigmenți. Lipsa unuia dintre acestea, ca și lipsa Fe, Mn, Cu și S, care sînt și ele necesare, dar fără să intre în molecula lor, împiedică formarea clorofilelor, rezultînd „cloroza" sau „îngălbenirea" plantelor.

În afară de factorii menționați, și alții sînt esențiali pentru formarea clorofilelor: lumina, temperatura, prezența glucidelor în celule, apa și oxigenul. La acești factori se adaugă și cei ereditari.

b) *Lumina.* Este necesară formării clorofilelor de la majoritatea plantelor. Excepție fac anumite alge, anumiți mușchi, ferige, conifere și semințele cîtorva angiosperme (lămîi, ghindă etc.).

c) *Temperatura.* Este absolut necesară, însă ca și multe alte procese fiziologice din plante, sinteza clorofilelor este limitată de temperaturile extreme. La temperaturi sub 3 °C sau peste 45°, sinteza clorofilelor este

slabă sau nu se produce de loc. Temperatura cea mai convenabilă pentru producerea maximă a clorofilelor pentru multe plante este cuprinsă între 25,5 °C și 30 °C.

d) *Glucidele*. Elementele C, H, și O din molecula clorofilelor sînt aparent derivate din glucide. Frunzele etiolate, adică crescute în condiții de întuneric și lipsite complet de glucide, formează rapid clorofilă dacă se introduc într-o soluție de zahăr expusă la lumină.

e) *Apa*. Un conținut ridicat de apă este esențial pentru cea mai eficientă desfășurare a proceselor fiziologice din celula vie. O scădere accentuată a conținutului în apă accelerează dezintegrarea clorofilei existente (exemple brunificarea gazonului și altor plante în timpul secetei) și împiedică formarea de clorofilă nouă.

f) *Oxigenul*. Este absolut necesar pentru formarea clorofilei. În lipsa lui, clorofilele nu se formează. Deci, oxidarea este esențială pentru transformările chimice cerute în sinteza clorofilelor. Elementele fier, mangan, cupru și zinc, deși nu fac parte din compoziția moleculelor clorofilelor, sînt esențiale pentru sinteza clorofilei. În absența lor, plantele sînt incapabile să sintetizeze clorofila. Incapacitatea plantelor de a forma clorofilă este cauzată nu numai de lipsa elementelor arătate, ci și de atacul insectelor, bacteriilor și ciupercilor sau bolilor virotice. De aici, constatarea că pentru sinteza clorofilelor este necesară și integritatea celulelor vii. În ce privește factorii necesari sintezei carotinoidelor, se consideră că sînt aceeași, exceptînd azotul, magneziul și lumina.

6. Absorbția luminii de către clorofilă

Proprietatea cea mai importantă a clorofilelor este absorbția radiațiilor luminoase. Cu privire la această problemă s-au făcut de către diverși cercetători numeroase experiențe, atît în condiții artificiale (cu extracte de clorofilă), cît și în condiții naturale (cu frunze intacte). Aceste experiențe arată că capacitatea de absorbție a luminii de către extractele de clorofilă se deosebește de capacitatea de absorbție a luminii de către cloroplastele celulelor vii (fig. 70).

S-a constatat, de pildă, că frunzele vii absorb cantități mari de radiații verzi, pe cînd

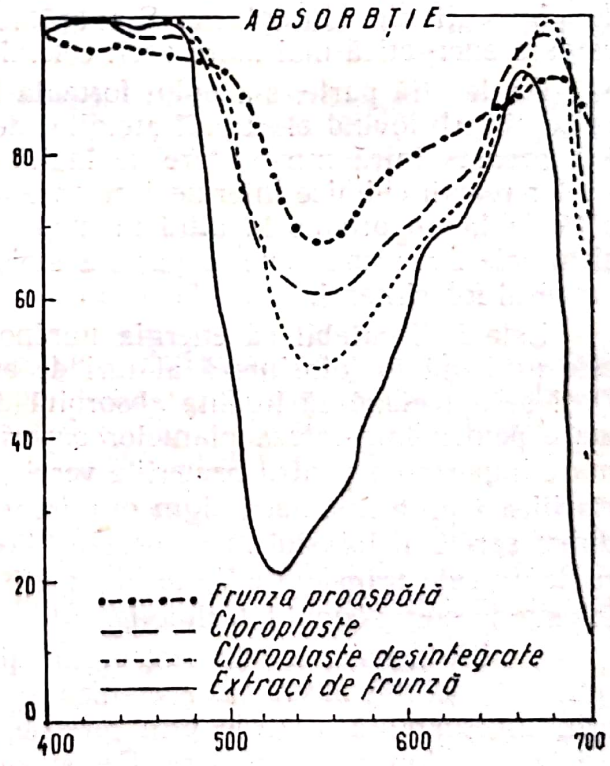


Fig. 70. Spectrul de absorbție la frunza intactă, la extractul de clorofilă și la cloroplastele izolate de spanac (după R. A. Mors și E. W. Loomis)

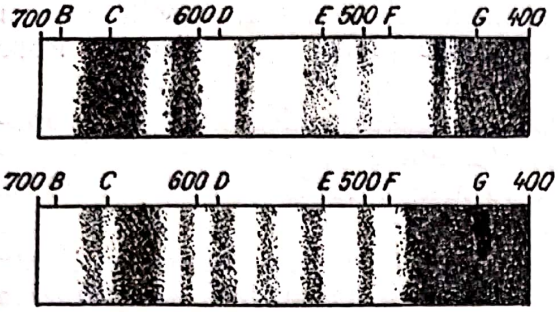


Fig. 71. Spectrul de absorbție al clorofilei *a* (*sus*) și al clorofilei *b* (*jos*)

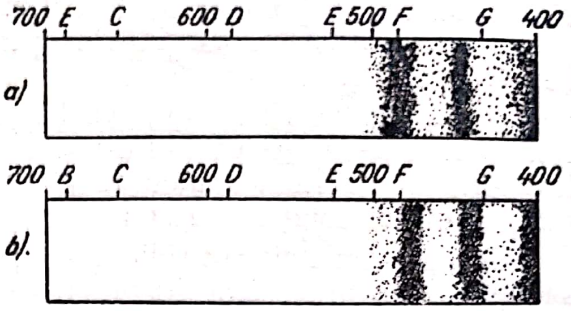


Fig. 72. Spectrele de absorbție ale pigmenților galbeni:
a — al carotinei; *b* — al xantofilei.

extractele de clorofilă absorb numai o mică cantitate pentru aceeași suprafață. Soluțiile de clorofilă arată o intensă absorbție în regiunea roșie și în cea albastru-violet a spectrului solar, fapt care se deduce din apariția unor benzi întunecate în aceste regiuni și o slabă absorbție în regiunea verde, în care aproape nu se observă prezența de benzi întunecate (fig. 71). În contrast, carotinoidele (carotina și xantofila) absorb numai radiațiile luminoase din regiunea albastră-violet (fig. 72). Din această cauză, maximum de absorbție a luminii din spectrul vizibil, în afară de cel din regiunea roșie, aparent, este dat în regiunea albastră-violet de amestecul de pigmenți din cloroplaste. S-a arătat că radiațiile albastre-violet au o valoare energetică mai mare decît celelalte feluri de raze vizibile.

Pe de altă parte, s-a putut formula ideea că fotonii luminii, pe măsură ce se absorb lovind electronii atomilor de clorofilă, în urma cedării energiei lor, aceasta intră într-o stare de înaltă activitate chimică. În timpul diferitelor reacții chimice intermediare care au loc, această energie este transferată de la un produs la altul în mod aparent, prin intermediul enzimelor și în cele din urmă devin o parte a moleculelor de zahăr care se produc în procesul fotosintezei.

Este indiscutabil că energia luminoasă absorbită de către carotinoide este utilizată în fotosinteză alături de energia absorbită de către clorofile. Deși se apreciază că lumina absorbită de carotinoide nu are o importanță mare pentru fotosinteza plantelor superioare, se consideră că are o foarte mare importanță pentru bacteriile verzi și alge. La ora actuală nu este încă clarificată problema dacă pigmenții carotinoidieni transferă energia radiantă direct spre a fi folosită în reducerea bioxidului de carbon sau dacă energia radiantă este transferată de la pigmenții galbeni la pigmenții verzi, și apoi folosită în mecanismul fotosintetic.

O altă însușire a celor doi pigmenți este fluorescența. Soluțiile de clorofilă, în soluție alcoolică, acetonică sau eterică, prezintă o culoare verde prin transparență și roșie prin reflexie. În soluție coloidală, această proprietate a clorofilelor dispare. Fenomenul fluorescenței a fost observat cu ajutorul microscopului fluorescent și la cloroplastele izolate din frunze, ba chiar și din frunzele intacte. Lumina de fluorescență se explică printr-o

transformare a radiațiilor cu lungime de undă scurtă și bogate în energie, absorbite de către clorofile, în radiații cu lungime de undă lungă sărace în energie.

7. Fotosinteza ca procesc de acumulare de substanță organică și de energie

Celulele organelor verzi, fiind în mod permanent aprovizionate cu acid carbonic prin intermediul spațiilor intercelulare, trebuie să valorifice carbonul existent. Pentru aceasta, bioxidul de carbon trebuie transformat chimic în așa fel, încît să poată fi folosit în metabolismul plantei. Putem vorbi deci de o adaptare a unei substanțe străine corpului la condițiile și necesitățile plantei. Acest proces denumit asimilare reprezintă, pe lîngă aprovizionare cu apă, procesul vital cel mai elementar.

Ne putem imagina că transformarea bioxidului de carbon în combinații organice complicate cere o serie de reacții chimice complicate, care pot fi baza de plecare pentru multe alte substanțe vegetale. Carbonul este supus nenumăratelor reacții, apar o serie de produși intermediari, iar la urmă se formează o substanță pe care trebuie să o denumim produs finit provizoriu. Este vorba de glucoză. Planta, în frunzele ei verzi, dintr-o substanță gazoasă — bioxidul de carbon — și dintr-o substanță lichidă — apa — poate să sintetizeze combinația organică complicată, glucoza (zahăr) solubil în apă.

Lăsînd la o parte nenumărați produși intermediari care se sintetizează și se transformă pe calea de la carbon la zahăr, putem rezuma aceste procese într-o ecuație sumară:

$$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow{\text{energie luminoasă}} C_6H_{12}O_6 \text{ amidon} + 6O_2.$$

Glucoza care se formează obișnuit în fotosinteză nu rămîne în această stare.

In celulele verzi, în cloroplaste, se sintetizează nenumărate molecule de glucoză relativ mari, care, prin polimerizare, se transformă în molecule și mai mari. Astfel ia naștere amidonul (poliglucid). Acesta nu există sub formă solubilă, ci solidă, acumulîndu-se în cloroplaste (fig. 73).

Scoaterea glucozei din sfera reacțiilor primare, datorită polimerizării ei în amidon, preîntîmpină acumularea acesteia, și deci creșterea forței osmotice, care, mărindu-se peste o anumită limită, ar influența negativ productivitatea celulei verzi. Urmările importante ale formării amidonului sînt evidente. Celulele verzi ale frunzelor pot absorbi astfel tot mai mult bioxid de carbon din aer, îl pot asimila fără a-și micșora capacitatea lor funcțională. In măsura în care, datorită activității fotosintetice, se formează glucoză, aceasta este transformată în amidon. Amidonul nu se dizolvă ușor în apa rece, și deci nu poate influența procesele osmotice din celule.

Există însă și plante din fam. liliacee, graminee, iridacee, a căror frunze nu pot transforma glucoza în amidon. Aceste frunze se numesc „*zaharofile*", contrar celor care sînt numite „*amidonofile*" și care sînt cel

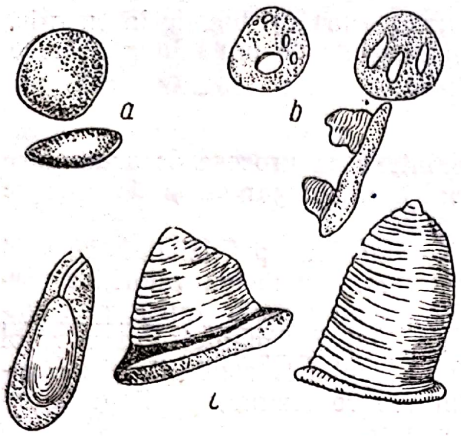


Fig. 73. Formarea grăunciorilor de amidon în cloroplaste:

a — cloroplaste văzute din față și din profil; *b* — cloroplaste cu grăunciori de amidon în curs de formare; *c* — coloroplaste cu grăunciori de amidon complet formați. Partea punctată reprezintă corpul cloroplastului (după K. A. Timireazev)

mai răspîndite. Dar nici în celulele frunzelor zaharofile conținutul în glucoză nu trebuie să crească prea mult, căci duce inevitabil la creșterea presiunii osmotice. Acest lucru nu se întîmplă fiindcă glucoza este imediat transportată în alte părți ale plantei. Cunoaștem însă și excepții. Este vorba de *xerofite*, ale căror frunze au un conținut destul de ridicat în glucide solubile (glucoză, zaharoză). În cazul acestor plante, acumularea glucidelor își are următoarea explicație: xerofitele au dificultăți mari în ceea ce privește aprovizionarea cu apă, și forța osmotică ridicată a celulelor verzi reprezintă un ajutor important.

Să discutăm mai departe despre plantele care transformă zaharul în amidon. Este ușor de înțeles că în urma activității fotosintetice, în celulele verzi se vor acumula importante rezerve materiale de amidon. Amidonul acumulat în celule poate fi descompus oricînd și transformat din nou în zahăr, fiind deci întotdeauna la dispoziția plantei.

Zahărul solubil, produs după descompunerea amidonului, este transportat în acele părți ale plantei, care îl necesită. Uneori amidonul dispărut apare în alte părți ale plantei, și încă în cantități mari. Planta își creează o rezervă de amidon, substanță care poate oricînd fi folosită. Zahărul din celulele verzi ale plantelor este transportat în anumite organe, unde tot prin polimerizare este transformat în amidon. Acesta este amidonul de rezervă și îl găsim acumulat în acele organe care pot produce viață nouă: în organele de reproducere, în semințe, în tubercule, rizomi, muguri etc. Ceea ce numim noi făină este tocmai această rezervă de amidon a plantelor.

În procesul fotosintezei se formează și cantități mici de alte substanțe solubile în apă, amino-acizi.

Nici aceștia nu rămîn în cloroplaste în această stare. Ei sînt transformați prin polimerizare, în proteine sau sînt transportați în alte organe ale plantei, unde este nevoie pentru creștere etc.

Prin procesul fotosintezei, plantele acumulează nu numai substanțe organice, ci cîștigă și energie. La asimilarea bioxidului de carbon, plantele folosesc energia luminoasă (fotoenergie) absorbită de frunzele lor. Dar se naște întrebarea: se consumă oare energia razelor solare la asimilarea bioxidului de carbon? Nu, fiindcă energia nu poate fi consumată; energia solară își poate schimba „forma", adică poate să apară sub cele mai variate forme: de energie electrică, energie termică etc. Această particularitate a energiei este unică.

Pe lîngă aceste forme de energie mai există așa-zisa energie chimică, care ne interesează în mod deosebit. Prin faptul că asimilarea bioxidului de

carbon nu poate avea loc decît prin fotosinteză, este cît se poate de limpede că energia folosită este transformată și apare din nou sub altă formă. În moleculele de zahăr și de amidon găsim, într-adevăr, cantități relativ mari de energie fixată sub forma energiei chimice. Această cantitate de energie corespunde energiei care este necesară pentru sinteza moleculei zahărului. Abia atunci cînd molecula se descompune, se eliberează această energie, își schimbă eventual forma și este folosită din nou.

În timpul asimilării bioxidului de carbon, se transformă deci fotoenergia în energie chimică, care devine o componentă a zahărului produs prin asimilare. Zahărul și amidonul prin urmare, conțin anumite cantități de energie fixată chimic, pe care planta o cîștigă din abundență prin razele solare ce ajung pe pămînt. Cantitatea de energie ce devine componentă a zahărului sintetizat este de 680 kcal. Schematic, ecuația se poate reprezenta astfel :

$$6CO_2 + 6H_2O + 680\ \text{kcal} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2.$$

Energia fixată în molecula de zahăr reprezintă un cîștig însemnat pentru plantă și este folosită în multe direcții : este folosită în numeroasele procese vitale. Această energie este valorificată de animale și oameni ; fără ea nici n-ar putea exista viața. În procesul digestiei alimentelor în corpul animal și uman nu se asimilează numai substanțe nutritive pe care organismul le necesită, ci se cîștigă și energie, care este fixată chimic în substanțele organice vegetale. Energia acumulată în plante ne încălzește. Fiecare parte a plantei, sub formă de lemn, sau sub altă formă (turbă, cărbune etc.), reprezintă o rezervă de energie solară, care în sobă se manifestă sub forma *energiei termice*. Astfel, asimilarea bioxidului de carbon (CO_2) devine tot mai mult procesul vital de bază.

Plantele verzi nu produc numai substanțe organice din substanțe anorganice, ci prin valorificarea abundenței de raze solare ajunse pe pămînt, ele devin sursa cea mai importantă de energie pentru procesele vitale din corpul animal și uman.

După unele evaluări, prin fotosinteză, numai plantele de uscat transformă 396 miliarde tone de bioxid de carbon în 270 miliarde tone de glucoză (amidon și celuloză) fixînd circa 10^{19} kcal din energia solară, ceea ce reprezintă mai puțin de 1% din energia razelor solare pe care le primește pămîntul. În același timp, prin fotosinteză se pune anual în libertate $3 \cdot 10^{17}$ litri de oxigen, adică atît cît ar fi necesar unei populații de un miliard de oameni pentru o durată de 1 000 de ani.

Importanța asimilării carbonului nu constă numai în faptul că se asigură alimentarea și aprovizionarea cu energie a animalelor și oamenilor, ci și în aceea că asigură respirația acestora prin eliminarea oxigenului. Planta verde elimină tocmai ceea ce este necesar animalelor, iar planta absoarbe tocmai bioxidul de carbon care nu poate fi valorificat de animal. Interdependența dintre plantă și animal se poate ilustra schematic în felul următor :

$$6CO_2 + 6H_2O + \text{energie luminoasă} \xrightarrow{\text{plantă}} \text{substanțe organice (glucide)} \xleftarrow{\text{animal}} + 6O_2.$$

Ecuația asimilării ne arată că pentru sintetizarea unei molecule de zahăr se absorb din aer 6 molecule de CO_2, pe care planta le asimilează. Pe de altă parte se eliberează 6 molecule de oxigen, care sînt eliminate în aer. Deci planta, în timpul asimilării (fotosintezei), elimină un număr de molecule de oxigen egal cu numărul de molecule de CO_2 absorbite. Bineînțeles că greutatea cantităților gazoase va fi diferită în funcție de greutatea moleculară a celor două gaze. Mai există și un alt raport între aceste două gaze, și anume: la aceeași temperatură și sub aceeași presiune există întotdeauna (în aceeași cantitate spațială a diferitelor gaze) același număr de molecule. Această constatare o folosim pentru a controla exactitatea ecuației de asimilare. Dacă colectăm bulele de aer eliminate de o plantă într-un vas gradat, știm cîți cm^3 de oxigen au fost eliminați într-o oră. Astfel știm și cîți cm^3 de CO_2 au fost absorbiți și transformați în zahăr. Aceste valori pot fi raportate în modul cel mai simplu la zile și ne permit elaborarea unor concluzii asupra intensității de asimilare a plantei.

8. Eficiența fotosintezei

Practica ne arată că se pot obține recolte mai mari de produse agricole dacă se cultivă cele mai bune soiuri de plante și se mărește fertilitatea solului prin îngrășare, irigare etc. Este importantă și distanța de semănat, deoarece la distanțe potrivite se obține o creștere a suprafeței frunzelor și o mai mare absorbție de bioxid de carbon, și în consecință o cantitate mai mare de substanțe organice prin fotosinteză.

În legătură cu aceasta, interesează cît de eficient este procesul fotosintezei? De asemenea, interesează dacă procesul fotosintezei variază cu speciile de plante și dacă poate fi mărită eficiența procesului. Datele existente în literatura de specialitate arată că, în condiții optime, fiecare specie de plantă poate, în procesul fotosintezei, să transforme în energie chimică circa 25% din energia luminoasă. De aici pare improbabil că eficiența fotosintezei la specii separate să poată fi mărită apreciabil. Cu toate că 25% din lumina absorbită e transformată în energie chimică, în fotosinteză numai circa 1% din energia totală incidentă căzută pe frunză și circa 2,5% din radiațiile vizibile absorbite sînt utilizate de speciile ierboase și de cele lemnoase în timpul creșterii în sezonul de vară.

9. Factorii care pot influența intensitatea fotosintezei

Intensitatea fotosintezei e determinată de interrelația diferiților factori ai mediului înconjurător, precum și de variatele condiții structurale ale frunzelor și de eficacitatea substanțelor organice sau anorganice, cum ar fi, de exemplu, enzimele și substanțele minerale care sînt esențiale în acest proces.

Scanned with OKEN Scanner

Dintre factorii externi care pot influența mult fotosinteza menționăm: lumina, concentrația CO_2 în aerul din jurul plantei, temperatura, cantitatea de umiditate, presiunea atmosferică, atacul insectelor, diferitele boli și indirect aerisirea rădăcinilor.

Condițiile structurale care pot influența fotosinteza sînt: numărul și poziția stomatelor, abundența spațiilor intercelulare din frunze în relație cu suprafața frunzei expusă atmosferei, numărul și distribuirea nervurilor, suprafața totală expusă atmosferei, grosimea cuticulei etc.

La aceste condiții enumerate se mai adaugă și alte condiții ca: aprovizionarea cu CO_2 și apă, cantitatea și distribuirea clorofilei și a enzimelor, aciditatea celulelor asimilatoare, abundența elementelor necesare direct sau indirect sintezei clorofilei, precum și activitatea fiziologică a plantei.

Să discutăm, pe scurt, influența celor mai importanți factori menționați.

a) *Influența luminii.* Lumina este factorul esențial care determină procesul fotosintezei. Ea, după cum s-a arătat anterior, nu este necesară numai formării clorofilei, ci și ca sursă de energie, care devine energia chimică în moleculele sintetizate (zahăr, amidon etc.).

Ca factor extern, lumina influențează procesul fotosintezei prin intensitate (cantitate) și prin compoziția ei (calitate).

— Influența intensității luminii. Intensitatea zilnică a luminii în care planta poate supraviețui pe seama zahărului produs se referă adesea la intensitatea *critică de lumină.* Necesarul în lumină variază la diferitele specii și soiuri de plante și o dată cu schimbarea factorilor externi ca: temperatura, umiditatea și concentrația bioxidului de carbon.

La plantele terestre adaptate la intensități joase de lumină, cunoscute ca „plante de umbră" (ombrofile), optimul de asimilare se situează la intensități de lumină mult mai slabe decît la plantele care suportă intensități ridicate de lumină și care sînt cunoscute sub numele de *„plante de lumină"* (fotofile).

In natură, plantele își aleg de obicei locurile care corespund necesarului lor de lumină.

Dacă intensitatea luminii solare e scăzută și alți factori rămîn constanți, intensitatea fotosintezei este slabă. Ea crește însă, la cele mai multe plante pe măsură ce crește intensitatea luminii, care poate atinge valoarea maximă la aproximativ 0,5 lumină solară directă. La multe specii de plante, maximul fotosintezei se manifestă la intensități de lumină scăzute. De exemplu, la grîu, maximul de fixare al bioxidului de carbon are loc la 5 300 de lucși, la sfecla de zahăr la 4 400 de lucși; la aceasta din urmă se fixează pe dm^2 frunză/oră 4,5 mg CO_2, pe cînd la alte plante, la intensități mai mici de lumină se fixează o cantitate mai mare de CO_2. Astfel, la cartof, la intensitatea luminii de 3 000 de lucși se fixează pe aceeași unitate de suprafață de frunză 14 mg CO_2, iar la floarea-soarelui, 18 mg CO_2. La tomate, la intensitatea luminii de 2 500 de lucși se fixează pe dm^2 frunză/oră 21 mg CO_2; la soia, la intensitate de 2 200 de lucși, 20 mg CO_2, iar la *Philodendron* (plantă de umbră) 4 mg CO_2 la intensitatea luminii de 500 de lucși.

Determinînd intensitatea fotosintezei la plantele de lumină, la intensități diferite și transpunînd datele obținute pe o diagramă, se obține o curbă

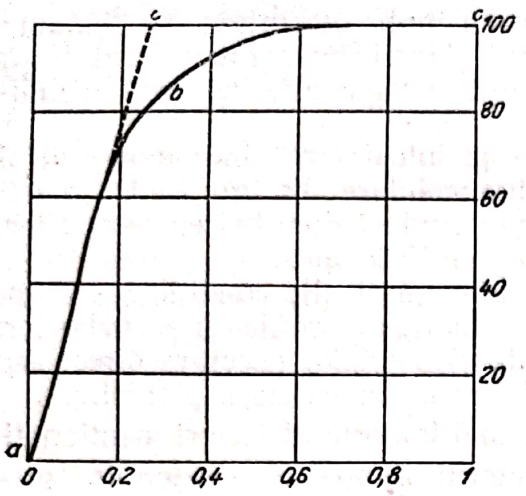


Fig. 74. Dependența fotosintezei de intensitatea luminii:

abc — curba fotosintezei; pe abscisă — intensitatea luminii din intensitatea luminii solare directe; pe ordonată — intensitatea luminii în procente față de valoarea maximă (după K. A. Timireazev)

logaritmică a fotosintezei (fig. 74). Forma curbei poate varia nu numai în funcție de intensitatea luminii, ci și de vîrsta, de cantitatea de clorofilă etc. (R. Harder și Brilliant). În genere, alura curbei depinde de gradul de adaptare al plantei la intensitatea luminii. La plantele fotofile, curba fotosintezei este o curbă logaritmică obișnuită, pe cînd la plantele de umbră, devine paralelă cu abscisa.

Această deosebire între plantele de lumină și cele de umbră o putem înțelege și mai bine dacă luăm în considerare cantitatea de pigmenți verzi și carotinoizi din celulele țesuturilor asimilatoare și raportul dintre pigmenții verzi, pe de o parte, și cei verzi și galbeni, pe de altă parte, cum se poate vedea din tabelul 18.

Se vede din tabel că în frunzele din soare predomină, dintre pigmenții verzi, *clorofila a*, iar la cele de la umbră predomină *clorofila b*.

Tabelul 18

Cantitatea de pigmenți verzi și carotinoizi și raportul dintre ei în frunzele din soare și de la umbră

(în gr. la 100 gr. frunză proaspătă)

Planta	Pigmenți verzi			Pigmenți galbeni			
	a	b	$\frac{a}{b}$	c	x	$\frac{c}{x}$	$\frac{a-b}{c-x}$
Boz (*Sambucus ebulus*)							
Frunze din soare	0,58	0,22	2,6	0,052	0,095	0,55	5,4
Frunze de la umbră	0,79	0,39	2,0	0,038	0,118	0,32	7,5
Platan							
Frunze din soare	0,15	0,15	3,5	0,043	0,092	0,47	4,6
Frunze de la umbră	0,85	0,85	3,2	0,051	0,125	0,40	6,4

În ce privește pigmenții galbeni, se constată o predominare a acestora în frunzele de la umbră. Această distribuție a pigmenților este o adaptare care permite valorificarea cît mai bună a radiațiilor luminoase. *Clorofila a* valorifică mai bine radiațiile cu lungimea de undă lungă (radiațiile roșii, portocalii și galbene), iar *clorofila b*, la care se adaugă și pigmenții galbeni, valorifică mai bine radiațiile *albastre-violet*. De aici decurg și unele deosebiri biochimice, și în ce privește natura asimilatelor. Plantele fotofile, precum

și frunzele din soare sintetizează cantități mari de glucide solubile și insolubile în apă (zaharuri, amidon) în medie 70% și puține proteine în medie 30%, pe cînd cele ombrofile sau frunzele de la umbră sintetizează în măsură aproape egală atît glucide, cît și proteine.

Desigur că adaptarea plantelor față de intensitatea luminii nu constă numai în cantitate și în predominarea unuia sau altuia dintre pigmenții verzi în celulele asimilatoare, ci și în ceea ce privește structura morfoanatomică a frunzelor. Frunzele plantelor fotofile sînt mai groase, avînd țesutul palisadic format din 2—3 straturi de celule ; ele au totodată o cuticulă mai groasă, ceea ce este un indiciu că schimbul de gaze se face mai mult prin stomate, care sînt foarte numeroase. În celulele frunzelor din soare sau aparținînd plantelor fotofile se observă mai multe cloroplaste, dar cu mai puțină clorofilă. Cu totul alta este situația la plantele ombrofile sau cu frunzele de la umbră. La acestea, țesutul palisadic este format dintr-un singur strat de celule (uneori poate chiar lipsi), cum se poate vedea din figura 75, cuticula e subțire, stomatele sînt mai puțin numeroase, cloroplastele sînt, la fel, mai puțin numeroase și mai bogate în clorofilă ; aceasta nu trebuie să ne ducă la concluzia greșită că la plantele de umbră productivitatea fotosintezei ar fi mai ridicată.

O problemă de importanță teoretică și cu consecințe practice e aceea a minimului de lumină necesar începerii fotosintezei. După diverși cercetători, V. N. Liubimenko, S. P. Kostîcev etc., fotosinteza începe la intensități foarte slabe de lumină, de 8—10 lucși. Bineînțeles că acest minim poate să varieze în funcție de adaptarea plantei față de intensitatea luminoasă. La plantele fotofile, minimum de intensitate luminoasă necesar începerii fotosintezei este mai ridicat decît la ombrofile.

La intensități de lumină slabă, fenomenul fotosintezei, din cauză că decurge cu intensitate slabă, ajunge să se echilibreze cu fenomenul respirației, care nu este influențat de intensitatea luminii. Punctul unde curbele celor două procese se echilibrează poartă numele de „punct de compensație".

Plantele, găsindu-se la punctul de compensație, nu prezintă nici o creștere în greutate, întrucît frunzele sintetizează o cantitate de glucide egală cu cea consumată în respirație.

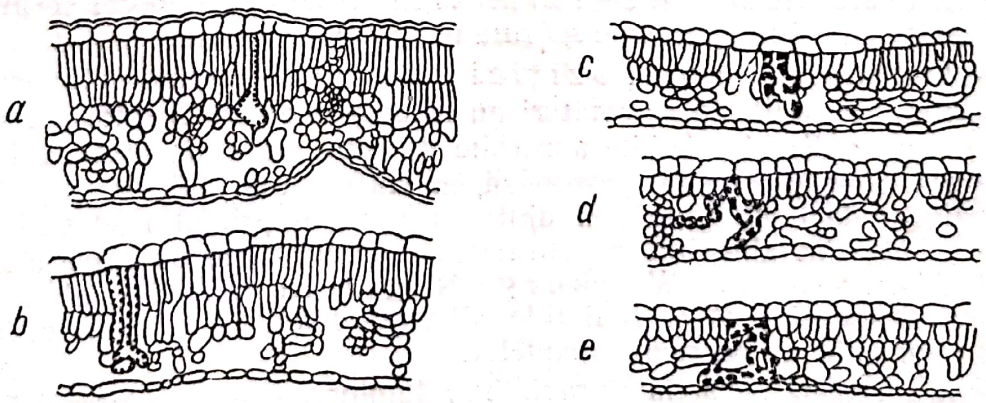


Fig. 75. Secțiune transversală printr-o frunză :
a și *b* — frunză de la lumină; *c*, *d* și *e* — de la umbră (după N. A. Maksimov)

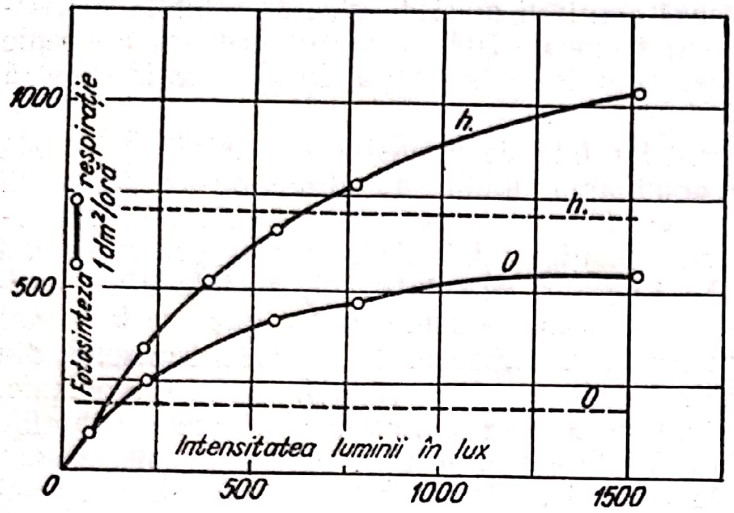


Fig. 76. Punctul de compensație a frunzelor de la lumină (h) și de la umbră (o) (după N. Sălăgeanu)

În decursul unei zile, echilibrarea celor două procese are loc dimineața devreme și spre seară, cînd intensitatea luminii este slabă. La plantele de lumină, echilibrarea fotosintezei și respirației are loc la intensități de lumină diferite: la 100 de lucși la floarea-soarelui și la soia, la 150 de lucși la tomate, la 200 de lucși la tutun, la 300 de lucși la stejarul roșu și la 25 de lucși la *Philodendron*. Acad. N. Sălăgeanu (1939) a găsit, pentru frunzele de lumină ale cîtorva esențe lemnoase, valori și mai mari, cuprinse între 600 și 1 100 de lucși (fig. 76).

Valorile indicate sînt relative, pentru că la aceeași frunză, punctul de compensație poate varia în funcție nu numai de adaptarea plantei, ci și de vîrsta frunzei, de temperatura mediului, de concentrația în bioxid de carbon a aerului, de cantitatea de clorofilă și alte cauze. În genere, dacă temperatura mediului scade sau dacă concentrația bioxidului din atmosferă crește, punctul de compensație apare la intensități de lumină mai slabe. La frunzele sărace în clorofilă (frunzele aurii, verzi, galbene), punctul de compensație se deplasează spre intensități de lumină mai ridicate de cît la frunzele de culoare verde închisă, care sînt mai bogate în clorofilă.

Cunoașterea valorii punctului de compensație prezintă nu numai importanță teoretică, ci și practică. În sere, în timpul iernilor noroase, din cauza intensității slabe a luminii și a temperaturii ridicate (de aproximativ 30 °C), fotosinteza și cu respirația se pot afla în echilibru în cea mai mare parte a zilei, din care cauză plantele stagnează în creștere, ba uneori se înfometează. În această situație trebuie scăzută temperatura în sere.

— Influența compoziției luminii. Numeroasele cercetări efectuate de către diferiți cercetători au făcut dovadă că în fotosinteză sînt folosite toate radiațiile vizibile absorbite de către clorofilă, însă nu în măsură egală. Sînt folosite în fotosinteză, în măsura cea mai mare, radiațiile cu lungimea de undă lungă, și dintre acestea în primul rînd cele roșii, pentru că ele sînt absorbite în cantitatea cea mai mare de către clorofilă (K. A. Timireazev, Warburg, Negelein ș.a.). Destul de activ participă în fotosinteză și radiațiile albastre-violet. În schimb, radiațiile verzi nu pot satisface necesarul plantelor.

Pentru cercetarea acțiunii radiațiilor luminoase asupra intensității fotosintezei se fac determinări asupra acesteia în lumina monocromatică. În acest scop se folosesc filtre lichide de anumite soluții, care lasă să treacă

razele de lumină de o anumită lungime de undă. Lumina monocromatică se poate obține prin refracția luminii solare de către prisme.

Studiindu-se acumularea substanței uscate în fragmente de frunze de porumb, care au fost ținute în lumina roșie și albastră, cercetătoarea sovietică Voskresenskaia (1950) a putut constata că în lumina roșie, frunzele acumulează de cîteva ori mai multă substanță uscată decît în lumină albastră. Datele obținute se pot vedea în tabelul 19.

Tabelul 19

Acumularea substanței uscate de către fragmentele frunzelor de porumb iluminate cu lumină roșie și albastră

(în mg la 100 fragmente în 5½ ore)

Nr. experienței	Greutatea fragmentelor de control	Greutatea fragmentelor după expunere la		Sporul de substanță uscată	
		lumină roșie	lumină albastră	lumină roșie	lumină albastră
14	387,6	425,11	411,4	37,5	23,8
9	430,5	483,0	445,0	52,5	14,5
12	488,9	521,5	492,7	32,6	3,3
27	485,9	554,0	519,2	68,1	33,3

În alte cercetări, autoarea a stabilit că în lumina roșie se acumulează în special glucide, iar în lumina albastră mai multe proteine. Aceste date au însemnătate pentru practică. Cu ajutorul luminii artificiale, mai bogată în radiații roșii sau în radiații albastre, se poate obține, după voie, o cantitate mai mare de glucide sau de proteine.

b) *Influența concentrației bioxidului de carbon.* Știm că CO_2 participă la compoziția aerului numai cu 0,03%. Acest procent pare insuficient pentru a satisface cerințele nenumăratelor plante verzi. Totuși se apreciază că stratul de aer care înconjoară pămîntul conține rezerve uriașe din acest gaz — 3 000 de bilioane kg de CO_2 (3 000 000 000 000 000 kg). Zilnic putem constata că acest aport de 0,03% CO_2 asigură o creștere sănătoasă a plantelor.

Și totuși, procentul de CO_2 poate varia la suprafața pămîntului. Datorită descompunerii substanțelor organice din sol, sub influența microorganismelor, cantitatea de CO_2 în atmosfera pămîntului poate ajunge la înălțimea de 0,12 m de 0,06—0,30%. Această concentrație, dacă alți factori sînt favorabili, este suficientă pentru a contribui la creșterea intensității fotosintezei la plantele de talie mică, în special dacă mișcarea aerului este neglijabilă.

Pe de altă parte trebuie menționat faptul că intensitatea fotosintezei, la o intensitate de lumină dată, este direct corelată cu creșterea concentrației de CO_2 și invers. Experiențele arată că la o temperatură de 22 °C și umiditate relativă de 70%, intensitatea fotosintezei nu crește la plantele de grîu la o intensitate luminoasă peste 40%, cînd cantitatea de CO_2 era numai de 0,01%. Însă cînd concentrația de CO_2 crește pînă la 0,04% intensitatea fotosintezei crește mai mult sau mai puțin o dată cu creșterea intensității luminii, pînă la 100% din intensitatea luminii solare directe (fig. 77). Aceste

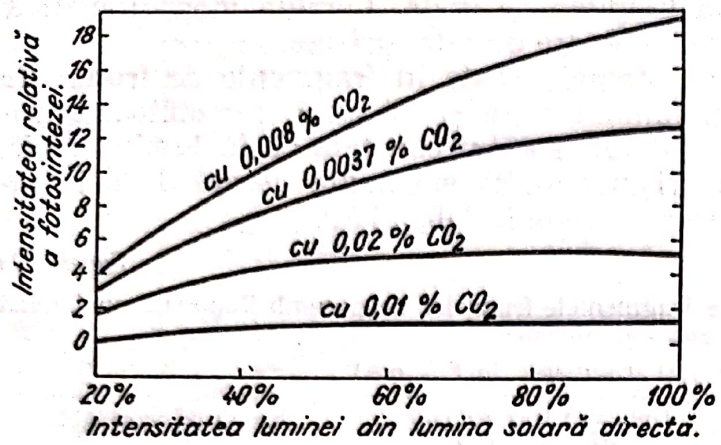


Fig. 77. Intensitatea fotosintezei în relație cu intensitatea luminii și concentrația bioxidului de carbon (după W. H. Hoower, Johnson și F. S. Brackett)

experiențe ilustrează interrelația dintre cei doi factori externi și fotosinteză. Se constată că intensitatea fotosintezei la o intensitate de lumină dată depinde de concentrația de CO_2 și viceversa.

Se știe, de pildă, că prin îmbogățirea aerului din sere cu CO_2 se condiționează o creștere și o dezvoltare mai bună a plantelor, sau chiar obținerea unor recolte sporite.

Dar și aici există o limită. Prea mult CO_2 în jurul plantelor dăunează. Concentrația CO_2 din atmosfera din jurul plantelor trebuie să corespundă cerințelor lor. O mărire a concentrației CO_2 cu 10% față de concentrația normală, în condițiile de seră în care lumina păstrează o intensitate relativ constantă, determină slăbirea activității fotosintetice. Plantele produc puțină substanță organică. În condițiile de cîmp, o depășire a concentrației CO_2 cu 10% față de concentrația normală (din aer), dimpotrivă, nu slăbește fotosinteza, ci o intensifică. Plantele produc, față de cele din sere, de 5—20 de ori mai multă substanță organică, pentru că ele primesc suficientă lumină care să le permită asimilarea surplusului de CO_2. Bineînțeles că plantelor trebuie să li se asigure aprovizionarea bună cu apă și substanțe minerale.

c) *Influența temperaturii.* Nenumărate experiențe efectuate în condiții concrete — conduse și controlate — au dovedit că desfășurarea procesului de fotosinteză depinde într-o mare măsură de temperatură. Majoritatea plantelor pot fotosintetiza abia începînd de la 0 °C. Foarte accelerată este fotosinteza între 30 °C și 40 °C, iar depășirea acestor temperaturi cauzează vătămări aparatului fotosintetic, care uneori sînt grave.

Temperatura cea mai joasă care permite asimilarea bioxidului de carbon este denumită temperatura minimă, iar temperatura ceva mai ridicată reprezintă temperatura maximă pentru acest proces. Valorile acestea oscilează pentru fiecare specie de plante în parte. De asemenea, s-a dovedit că intensitatea fotosintezei la lumina directă solară variază atît cu temperatura, cît și cu concentrația CO_2 din aer. De exemplu, la concentrația bioxidului de carbon de 0,03%, maximul intensității fotosintezei este atins în frunzele de cartof la temperatura de 20 °C. Dacă însă concentrația bioxidului de carbon crește la 1,22%, maximul intensității fotosintezei va fi atins la 30 °C (fig. 78). Aici sînt evidente anumite interrelații între diferiții factori înconjurători și intensitatea fotosintezei. Aceștia fac ca optimul de temperatură pentru o plantă dată să varieze atît în timpul unei zile, cît și de la o zi la alta, în funcție de modificarea valorilor.

Scanned with OKEN Scanner

Este de subliniat faptul că în regiunea optimului termic plantele prezintă totdeauna un maxim de sensibilitate față de variațiile de intensitate a luminii.

Experiențele au mai scos în evidență că peste optimul de temperatură la care fotosinteza este maximă, intensitatea procesului scade brusc. Deocamdată nu știm în ce fel temperatura supraoptimă cauzează scăderea fotosintezei. Se consideră că ridicarea temperaturii peste cea optimă vatămă protoplasma, cloroplastele și micșorează *activitatea enzimelor* care participă în reacțiile fotosintezei. Se știe însă un lucru sigur : că funcția vitală protoplasmei este determinată într-o măsură mare de temperatură, iar intensitatea cu care este asimilat bioxidul de carbon este determinată de funcțiile plasmatice.

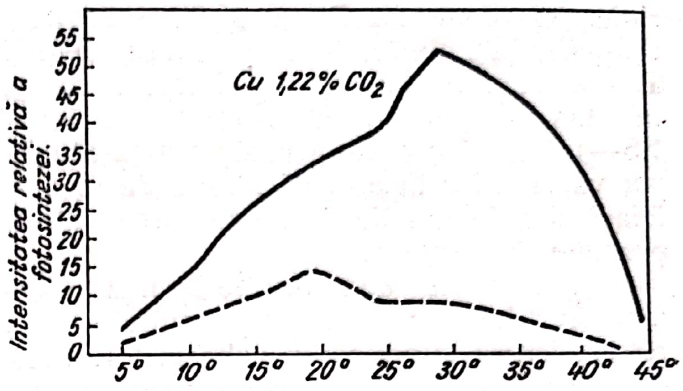


Fig. 78. Intensitatea relativă a fotosintezei în frunzele de cartof în relația cu temperatura și concentrația bioxidului de carbon (după H. G. Lundegardh)

Totuși ne este cunoscut faptul că deși plantele sînt expuse uneori la temperaturi care se apropie de maxim, supraîncălzirea lor poate fi evitată. Se știe că planta transpiră mai intens cînd temperatura este mai ridicată. La temperaturi ridicate, stomatele frunzelor sînt larg deschise, și ca urmare elimină mai mulți vapori de apă, care apără frunzele de supraîncălzire.

Dar tot prin aceste stomate pătrunde și bioxidul de carbon în plantă, creind astfel condițiile pentru asimilarea carbonului. Deci există un raport între asimilarea bioxidului de carbon și temperatură, și implicit și transpirație. Cu cît temperatura aerului este mai ridicată și cu cît razele solare sînt mai intense, cu atît mai intensă este și transpirația, și implicit asimilarea bioxidului de carbon ; stomatele larg deschise permit eliminarea unei mari cantități de vapori de apă și pătrunderea unei cantități tot atît de mari de bioxid de carbon. La temperaturi joase fenomenul este tocmai invers : stomatele fiind insuficient deschise, permit un schimb redus de gaze, ceea ce influențează nefavorabil intensitatea fotosintezei. Totuși, trebuie să precizăm că la temperaturi mai joase, cu durată de acțiune lungă, fotosinteza, chiar dacă nu are o valoare ridicată, se menține constantă, pe cînd la temperaturi ridicate, deși este mai intensă, nu se poate menține la o valoare constantă, ci scade.

Fotosinteza se manifestă și la temperaturi joase negative, de —2° și —3 °C la cerealele de toamnă, și chiar la temperaturi și mai joase la plantele lemnoase cu frunze persistente (conifere).

Asupra fotosintezei, influența temperaturii nu este așa de mare, cum este în alte procese fiziologice (de exemplu în respirație), întrucît fotosinteza nu este un proces pur chimic, ci fizico-chimic. Procesul fotosintezei este constituit din reacții fotochimice care stau sub dependența luminii și din reacții chimice care depind de temperatură. În reacțiile chimice,

Scanned with OKEN Scanner

ridicarea temperaturii cu 10 °C mărește în general viteza reacțiilor de cel puțin de 2 pînă la 3 ori, pe cînd în reacțiile fotochimice — de 1,1—1,2 ori. Fotosinteza, în funcție de ridicarea temperaturii, crește la fiecare 10 °C în plus (Q_{10}=coeficientul termic al fotosintezei) între 0 °C și 20 °C cu 1,5—1,6 ori, iar peste această temperatură, Q_{10} are valori și mai mici, care pot varia chiar la aceeași plantă de la o zi la alta, ba chiar în cursul aceleiași zile, în funcție de modificarea valorii factorilor ce acționează asupra plantelor în complex.

d) *Influența regimului de apă.* Apa poate influența intensitatea fotosintezei în diferite moduri. În primul rînd ea este absolut necesară ca materie primă pentru sintetizarea zaharurilor. Ecuația asimilării bioxidului de carbon ne arată clar că pentru sintetizarea unei molecule de glucoză, sînt necesare 6 molecule de CO_2 și 6 molecule de apă. De aici constatarea că, dacă aprovizionarea cu apă scade mult, intensitatea fotosintezei se va reduce în concordanță.

De altfel, o reducere a aprovizionării cu apă este frecvent cauza închiderii stomatelor, și aceasta limitează pătrunderea bioxidului de carbon în frunzele și tulpinile tinere. Cînd planta este ofilită, intensitatea fotosintezei scade puternic, cantitatea de zahăr sintetizată este foarte mică, în primul rînd din cauza insuficienței apei în celule, și în al doilea rînd din cauza stomatelor care se închid devreme.

Experiențele efectuate de V. A. Brilliant (1949), scot în evidență faptul că optimul fotosintezei, frecvent, nu este atins cînd celulele frunzelor sînt saturate cu apă, ci atunci cînd au mic deficit de apă, cuprins între 8 și 13%. Mersul fotosintezei în funcție de gradul de hidratare al frunzelor se poate vedea din tabelul 20.

Tabelul 20

Influența deshidratării frunzelor asupra intensității fotosintezei porumbului

Varianta	Conținutul inițial în apă	Pierderea apei, în %		Fotosinteza reală, în ml CO_2/oră la 100 cm² supraf.	În % față de martor
		din greutatea umedă	din conținutul de apă		
Plante de experiență	76,0	3,7	4,9	3,1	107
Martor	—	—	—	2,9	—
Plante de experiență	81,9	6,3	—	3,2	152
Plante de experiență	80,0	8,9	—	2,4	112
Martor	—	—	—	2,4	—

De aceea, un conținut ridicat în apă este esențial pentru multe procese chimice care au loc în celulele vii, inclusiv cele cu clorofilă. Prea multă apă în celulele plantei, ca și prea puțină, nu este favorabilă pentru fotosinteză. Ea poate fi cauza închiderii pasive a stomatelor și să împiedice accesul oxigenului la celulele verzi, în care procesul fotosintezei are loc numai dacă ele sînt asigurate cu oxigen.

e) *Influența sărurilor minerale.* Experiențele efectuate pînă în prezent de diverși cercetători cu privire la efectul îngrășămintelor minerale scot în evidență influența pozitivă asupra fotosintezei, dar și faptul că la diferitele

Scanned with OKEN Scanner

plante intensitatea procesului variază, la cantități egale de săruri minerale. De exemplu, la două norme de azot, intensitatea forosintezei la orez este de aproximativ 14,1 mg CO_2/1 dm^2 suprafață foliară pe oră, pe cînd la soia este numai de 5 mg, iar la fasole de 28 mg CO_2, pentru aceeași suprafață foliară și aceeași durată de timp. Îngrășămintele cu fosfor și potasiu în cantități egale măresc de asemenea intensitatea fotosintezei, dar nu în măsură egală la toate plantele.

O mare influență asupra intensității fotosintezei o au și îngrășămintele cu microelemente (B, Mn, Co și Mo). În această privință a lucrat Semeteite (1957) cu plantele de porumb în diferite faze de vegetație. El a găsit că fotosinteza este maximă: în faza de 5 frunze, cînd se administrează în sol bor și mangan; în faza de 6—7 frunze, cînd se administrează în sol bor și cupru; în faza apariției paniculului, cînd se administrează în sol bor și cobalt. În această fază are loc cea mai intensă acumulare de substanță organică. Cercetările lui H. Chirilei (1960) la grîu arată că sărurile de mangan și cupru în cantități mici favorizează acumularea glucidelor, ceea ce se explică printr-o intensificare a fotosintezei. Cercetările lui I. M. Skolnik (1950) arată că borul intensifică fotosinteza și transportul asimilatelor din frunze, ceea ce este o condiție foarte importantă pentru a se desfășura nestingherit fotosinteza.

f) *Influența cantității asimilatelor.* S-a arătat mai înainte că acumularea glucidelor osmotic active (solubile în apă) în celulele verzi dăunează fotosintezei, datorită forței osmotice ridicate. În genere, plantele evită acumularea de zaharuri solubile, transformîndu-le în amidon, substanță insolubilă în apă și osmotic inactivă. Totuși, în timpul amiezei, cloroplastele adesea se supraîncarcă cu amidon, și datorită acestui fapt, fotosinteza se oprește ca să reînceapă din nou, după ce o parte din amidon a fost transportat din frunze. Supraîncărcarea cloroplastelor cu asimilate este factorul cel mai important, dar nu unicul care duce la scăderea fotosintezei în timpul zilei.

g) *Influența cantității de clorofilă.* La plantele superioare, pigmenții verzi se găsesc legați numai în matricea coloidală de proteină specifică, numită cloroplast. De aici, apare clar că fotosinteza are loc numai în cloroplastele acestor plante. Cum pe fiecare cm^2 de suprafață foliară pot fi milioane de cloroplaste, în celulele mezofilului, este ușor de înțeles că abundența clorofilei influențează pozitiv intensitatea fotosintezei la multe plante. La unele plante însă, la un conținut mai ridicat în clorofilă, intensitatea fotosintezei este mai slabă (decît la un conținut mai scăzut de clorofilă) dimineața, în miezul zilei și imediat după amiază, pentru ca spre seară lucrurile să se petreacă *invers*. Aceste experiențe și altele au dus la concluzia că plantele care au frunzele de culoare verde-deschisă desfășoară o fotosinteză mai intensă, deci acumulează mai multe substanțe organice în zilele senine, iar cele cu frunzele verzi-închise în zilele întunecate.

h) *Influența enzimelor.* În mod efectiv, enzimele catalizează diferite reacții chimice ale fotosintezei, ușurează transferul energiei și formarea compușilor intermediari nestabili. Cum activitatea enzimelor din celulele

verzi, ca și din celulele neverzi, este influențată de mulți factori ca : temperatura, conținutul în apă al celulelor, aciditatea, acumularea produșilor finali, lumină etc., este ușor de înțeles că în fotosinteză, ca și în multe alte procese fiziologice, enzimele, prin activitatea lor, joacă un rol important.

i) *Influența structurii frunzelor.* Frunzele diferitelor specii de plante se deosebesc între ele în ce privește grosimea cuticulei de pe epidermă, prin numărul stomatelor pe cm^2 suprafață foliară, grosimea limbului, suprafața și distribuția spațiilor intercelulare care asigură în particular expunerea celulelor mezofilului, atmosfera internă. Toate aceste structuri enumerate pot influența intrarea bioxidului de carbon în celulele țesuturilor asimilatoare, și aceasta afectează intensitatea fotosintezei. Cu toate că o anumită cantitate de CO_2 intră în frunze prin celulele epidermei, numeroase experiențe arată că o mare parte a bioxidului de carbon folosit în fotosinteză este aceea care pătrunde în mezofil prin stomate.

În relație cu fotosinteza, s-a mai discutat influența pe care o au stomatele, dar subliniem că în relație cu fotosinteza, stomatele multor plante, în timpul căldurilor mari și uscăciunii, pot fi deschise în principal noaptea și închise ziua. La alte plante, stomatele pot fi deschise numai pentru cîteva ore (dimineața devreme). La anumite plante suculente (cactuși, halofite etc.), stomatele pot rămîne deschise atît ziua, cît și noaptea. Aceste fapte indică că starea stomatelor poate influența mult intensitatea fotosintezei prin efectul lor asupra difuzării bioxidului de carbon în frunze.

j) *Influența altor factori.* Și alți factori citați ca, presiunea atmosferică, în special în jurul centrelor industriale, pot cauza închiderea stomatelor și să micșoreze fotosinteza. Reducerea suprafeței frunzelor în urma grindinei, atacul afidelor și altor insecte poate determina scăderea intensității fotosintezei. De asemenea, îmbolnăvirea frunzelor, determinată de ciupercile și bacteriile parazite, de virusuri, poate micșora fotosinteza. Insuficiența oxigenului pentru rădăcini poate indirect reduce fotosinteza, fiindcă aerisirea slabă a rădăcinilor are ca consecință aprovizionarea slabă cu apă și cu substanțe minerale de care frunzele au neapărată nevoie.

10. Mersul fotosintezei în timpul unei zile și în timpul vegetației

Complexitatea interacțiunii dintre factorii externi și interni și nestabilitatea lor fac ca producerea de substanțe organice, în procesul fotosintezei, în timpul unei zile sau în timpul vegetației, să aibă un mers foarte neregulat.

Cercetările efectuate încă la sfîrșitul secolului trecut scot în evidență faptul că la unele plante fotofile, acumularea de substanță organică atinge un maxim de acumulare în primele ore ale dimineții, la altele în preajma amiezii sau spre seară. De asemenea, cercetările mai scot în evidență că la plantele ombrofile, ritmul de producere și acumulare a substanței organice este mai mare în zilele foarte călduroase decît în zilele cu temperatură mai scăzută.

Scanned with OKEN Scanner

Cercetările care au urmat de la 1905 încoace au arătat că fotosinteza în timpul unei zile, în particular la plantele de lumină, are un mers neregulat. Cauza este influența pe care o exercită simultan diferiți factori externi și interni. Dimineața asupra fotosintezei au o acțiune pozitivă intensitatea luminii și temperatura în curs de creștere. Mai tîrziu au influență negativă produsele acumulate în cantitate mare în frunze, creșterea deficitului de apă a frunzelor și uneori ridicarea excesivă a temperaturii. Deseori, mersul fotosintezei în decursul zilei, în frunzele plantei de lumină, prezintă o valoare maximă înainte de amiază, al doilea maxim după amiază și un minim în mijlocul zilei (la amiază). Depresiunea fotosintezei în timpul amiezii se datorește mai ales deficitului de apă al frunzelor, care, la rîndul său, provoacă închiderea stomatelor, supraîncărcarea cloroplastelor cu amidon (la plantele amidonofile) și creșterea presiunii osmotice din sucul vacuolar al celulelor verzi (la plantele zaharofile).

Unele cercetări arată că depresiunea fotosintezei în timpul amiezii este mai puternică la frunzele de culoare verde închisă decît la cele de culoare verde-deschisă, aceasta datorită faptului că în primul caz ele absorb o cantitate prea mare de lumină, care provoacă acțiuni de distrugere asupra enzimelor sau a protoplasmei. Din această cauză, în zilele senine plantele cu frunze mai deschise la culoare asimilează mai bine și produc mai multă substanță organică decît plantele cu frunze verzi-închise.

La mersul neregulat al fotosintezei contribuie și nebulozitatea.

Din cele arătate rezultă că mersul fotosintezei în timpul unei zile nu este în legătură cu variația unui singur factor, ci el este o rezultantă a acțiunii mai multor factori externi și interni, la care se adaugă și acțiunea factorilor ereditari.

La problema mersului fotosintezei în decursul unei zile au adus contribuții P. P. Stănescu și colaboratorii săi, I. Gr. Mihăilescu, A. Aronescu și L. Juracec. Autorii arată că acumularea în frunze a amidonului și glucidelor solubile în apă decurge, de obicei, în mod neregulat, prezentînd mai multe maxime și minime.

I. Gr. Mihăilescu arată că la aceeași specie de plantă, procesul acumulării amidonului prezintă variații chiar în diferite regiuni ale limbului aceleiași frunze.

La plantele de umbră sau umbrite, fotosinteza are un mers regulat, fapt care a fost scos în evidență prin cercetările acad. prof. N. Sălăgeanu.

In decursul vegetației, mersul fotosintezei prezintă de asemenea maxime și minime. In genere, fotosinteza începe cu o valoare mică care ajunge, relativ repede, la o valoare maximă, menținîndu-se la aceasta pînă la sfîrșitul vieții plantei, cînd se observă o scădere bruscă. Această scădere corespunde cu îmbătrînirea și îngălbenirea frunzelor. Maximul fotosintezei, de obicei, este atins în faza de înflorire, însă la unele poate fi atins în timpul formării mugurilor florali (lăcrămioară, sorg etc.), în epoca formării frunzelor (soia) sau în timpul formării semințelor (cînepa femeiască). La sfecla de zahăr, maximul fotosintezei este atins în prima perioadă a vegetației (lunile iunie și iulie).

Scanned with OKEN Scanner

Acest mers al fotosintezei în cursul vegetației la diferite specii de plante este în legătură mai ales cu activitatea metabolică (care se intensifică din ce în ce, pînă în preajma sau în timpul înfloritului, cînd atinge o valoare maximă), dar și cu acțiunea factorilor ereditari.

11. Mecanismul fotosintezei

Cîțiva biochimiști din secolul trecut și de astăzi și-au consacrat activitatea lor de cercetare pentru a surprinde mecanismul prin care este transformată energia solară în energie chimică în plantele verzi superioare. Deși s-au făcut eforturi mari în această privință, mecanismul fotosintezei a rămas încă neclarificat.

De-abia în ultimii 30 de ani, cîteva cercetări revelatoare au adus o contribuție de seamă, care ne dă posibilitatea să înțelegem mai bine procesul fotosintezei.

O primă contribuție de seamă în această privință, a fost adusă de fiziologul F. F. Blackman în 1905. El demonstrează că fotosinteza nu este o simplă reacție fotochimică, ci că ea constă din două reacții importante: 1) prima din aceste reacții este foarte rapidă și reclamă energie luminoasă pentru accelerarea ei; 2) a doua reacție este mai lentă și nu reclamă energie luminoasă, ea putîndu-se desfășura atît la lumină, cît și la întunerie. S-a dat primei reacții numele de *reacție luminoasă*, iar celei de-a doua, numele de *reacție de întuneric*.

La această contribuție se adaugă aceea a lui Hill din 1937, care arată posibilitatea reacției luminoase. Hill reușește să demonstreze că cloroplastele izolate în suspensie de apă, în prezența luminii și a sărurilor ferice (agent oxidant), pot efectua o *fotodisociere* a apei, conform ecuației următoare:

$$4Fe^{+++} + 2H_2O + \xrightarrow{\text{lumină, cloroplaste}} 4Fe^{++} + 4H^+ + O_2.$$

În aceasta reacție nu s-a produs nici un glucid, ceea ce demonstrează că reacția luminoasă a fotosintezei este o fotodisociere a apei în H_2 și O_2.

Deci, cloroplastele sînt ușor modificate prin faptul că ele se găsesc în afara celulei. Numeroase alte lucrări au demonstrat că această reacție, numită *reacția Hill*, reprezintă faza luminoasă a fotosintezei. Alte cercetări au demonstrat existența fazei obscure, în care au loc numeroase reacții catalizate de enzime, ce duc la formarea compușilor organici și a căror activitate stă sub dependența factorilor externi (temperatură, umiditate) și a factorilor interni (*p*H, elemente minerale existente în plante etc.).

Reacțiile care duc la formarea compușilor organici sub acțiunea clorofilei au început să fie lămurite recent prin folosirea izotopilor radioactivi.

Prezentăm pe scurt reacțiile care au loc în cele două etape ale fotosintezei.

a) *Prima etapă a fotosintezei*. În prima etapă — reacția luminoasă a fotosintezei — energia radiantă absorbită de clorofilă și transformată în

energie chimică este folosită la desfacerea enzimatică a moleculei de apă în hidrogen și oxigen, conform ecuației :

$$4\,H_2O \rightarrow 4\,H + 4\,OH$$

$$4\,OH \rightarrow 2\,H_2O_2 \xrightarrow{\text{catalază}} 2\,H_2O + O_2.$$

Oxigenul este eliminat în atmosferă sub formă liberă, iar hidrogenul servește la reducerea moleculei de bioxid de carbon care, în prealabil, este fixat pe o anumită substanță organică.

Se consideră, pe baza experiențelor efectuate, că hidrogenul nu reduce dintr-o dată molecula de bioxid de carbon. Mai întîi el este repede acceptat de un acceptor, și apoi este transferat la substanța pe care s-a fixat bioxidul de carbon.

Cu privire la substanțele care îndeplinesc rolul de acceptor și de transfer de hidrogen, lucrurile încă nu sînt definitiv clarificate. În această privință există două păreri mai importante : 1) se consideră că clorofila excitată de lumină îndeplinește atît funcția de acceptor, cît și de transfer de hidrogen pe moleculele acceptorului de CO_2 care se reduce ; 2) hidrogenul ar fi acceptat mai întîi, temporar, de o moleculă organică (probabil un acid sulfurat), care apoi se oxidează prin trecerea hidrogenului pe molecula unei dehidrogenaze ; mai departe hidrogenul ar fi acceptat de o codehidrază (CoD) care, prin dehidrogenare (oxidare de transfer fosforilată), produce trei legături macroergice fosfatice, după mecanismul :

$$AH_2 \xrightarrow[-H_2]{} A$$

$$CoD \longrightarrow CoDH_2 \xrightarrow[3\sim P]{1/2\,O_2} H_2O.$$

Pentru fiecare moleculă de apă descompusă prin fotoliză se reduce o moleculă de codehidrază, prin a cărei oxidație de transfer se pot produce trei legături macroergice fosfatice. Această părere este mai aproape de adevăr.

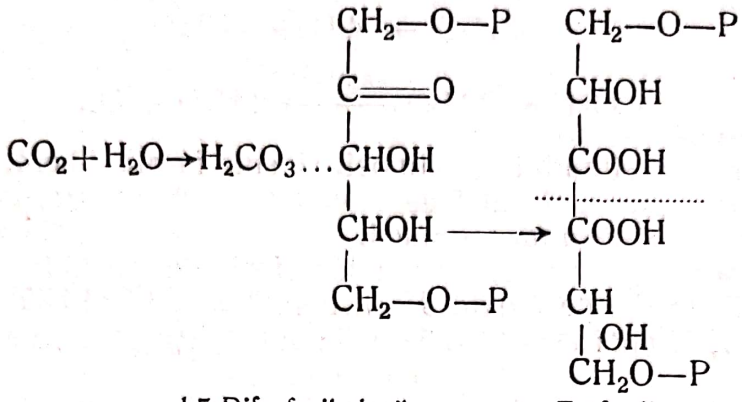
Se presupune că pentru fotodisocierea apei sînt folosite mai ales radiațiile cu lungime de undă mare (λ=650—750 mμ), în special cînd temperatura este mai ridicată.

Reacția luminoasă a fotosintezei trebuie considerată un mecanism de încărcare a acumulatorului fosfatic de energie (ATP) pe seama energiei solare, comparabil cu mecanismele ce au loc în respirația aerobă și anaerobă a plantelor și care se formează în cloroplastele celulelor asimilatoare. În esență, reacția luminoasă a fotosintezei este o fotoliză plus o oxidație aerobă.

b) *Etapa a doua a fotosintezei*. În această etapă — reacția obscură a fotosintezei — are loc sinteza glucidelor. Pentru aceasta se utilizează energia codehidrazelor reduse și a legăturilor macroergice fosfatice (energie luminoasă transformată în energie chimică).

După cercetările lui Calvin și colaboratorii săi, la alga verde monocelulară *Chlorella*, bioxidul de carbon absorbit din atmosferă și ajuns în cloroplaste se fixează sub formă de acid carbonic pe o moleculă de pentoză

fosforilată (1,5 difosforibuloză), cu desfacerea simultană a acesteia în două molecule de acid glicerofosforic :



1,5 Difosforibuloză Fosfoglicerat

Fixarea acidului carbonic, pe 1,5 difosforibuloză, se face numai după ce aceasta a fost activată. Pentru activarea ribulozei sînt utilizate 2 legături macroergice (2~P) din *ATP*. Fixarea acidului carbonic și ruperea moleculei de ribuloză în 2 molecule de acid fosfogliceric este operată de enzima carbodismutază. În urma ruperii moleculei de pentoză în două și oxidarea unei funcții de alcool secundar (CHOH) în funcție de acid (—COOH) rezultă energie care permite, pe de o parte, fixarea H_2CO_3 sub formă de carboxil, și pe de altă parte, reducerea funcției cetonice (—C=O) în alcool secundar. În continuare urmează reducerea celor două molecule de acid fosfogliceric cu hidrogenul codehidrazei reduse ($CoDH_2$), transformîndu-se în aldehidă fosfoglicerică, conform reacției :

$$2 \text{ fosfoglicerat} \xrightarrow{+CoDH_2} 2 \text{ aldehidă fosfoglicerică} + CoD.$$

Mai departe, cele două molecule de aldehidă fosfoglicerică sînt condensate într-o moleculă de glucoză fosforilată, care, prin defosforilare, trece în glucoză.

$$2 \text{ aldehidă fosfoglicerică} \xrightarrow{+E} \text{glucoză} + 2\,H_3PO_4.$$

În total, pentru reducerea unei molecule de CO_2 se utilizează trei legături macroergice (3~P) și 2 $CoDH_2$.

Întrucît o moleculă de codehidrază redusă ($CoDH_2$) este echivalentă cu 3~P, energia totală folosită pentru reducerea unei molecule de CO_2, exprimată în legături macroergice, este de 3~P+2(3~P)=9~P. La formarea unei molecule de glucoză, participînd 6 molecule de CO_2, vor fi necesare 6×9=54~P, din care 18 provin din 6×3~P, iar 36 din 12 $CoDH_2$×3.

Întregul lanț de reacții se petrece într-un ritm extrem de rapid. În mai puțin de 5 secunde se obține acidul fosfogliceric și cam în tot atîtea secunde glucoza. În urma asimilării CO_2, după un minut în frunze apar și acizi aminici (cercetările lui M. Calvin și A. Benson, 1954).

Glucoza sintetizată în cloroplaste este sursă directă sau indirectă a tuturor moleculelor organice naturale. Din glucoză ia naștere amidonul care

numai temporar se acumulează în frunze, apoi celuloza care intră în compoziția membranelor celulare, pentozele, diferiți acizi organici, aminoacizi, proteine, lipide, lipoide, terpene etc. În aceste sinteze intervin enzimele și corpii macroergici, ca în multe reacții vitale. Dintre acestea, ATP, care se formează în cloroplaste la lumină (D. Arnon, 1935), are un rol capital.

Pe scurt, fotosinteza este considerată astăzi ca un proces complex, în care apa este descompusă în hidrogen și oxigen, că hidrogenul reduce CO_2 fixat pe o substanță organică, care apoi dă posibilitatea formării glucozei, iar oxigenul este eliminat în atmosferă. Astfel s-a infirmat părerea anterioară că oxigenul eliminat de plante ar proveni din fotodisocierea CO_2.

Cercetările efectuate cu CO_2, în care oxigenul este marcat, arată că oxigenul bioxidului de carbon se include în molecula de glucoză.

Întrucît reacția de bază reclamă numai hidrogen și bioxid de carbon, fotosinteza este considerată ca un proces de oxido-reducere în care apa sau alt donator de hidrogen (H_2S la bacteriile sulfuroase) este oxidată, și bioxidul de carbon este redus.

12. Relația dintre productivitatea fotosintezei și recoltă

Recolta plantelor de cultură conține aproximativ 90—95% substanțe organice, a căror origine trebuie căutată în procesul fotosintezei, și numai 5—10% substanțe minerale. În genere, recolta se exprimă în greutatea substanței uscate produsă de către plantele cultivate pe o suprafață de 1 hectar.

Cînd vorbim de recoltă, ne referim la cantitatea totală de substanță uscată acumulată de plantele verzi, pe o suprafață de 1 hectar, în toate organele lor. Aceasta este recolta biologică. O parte din această recoltă constituie ceea ce numim recoltă agricolă, care reprezintă cantitatea de substanță organică acumulată în organele valoroase ale plantei, adică fie numai în fructe sau în semințe, fie numai în organele subterane (bulbi, rădăcini, tubercule).

Recolta biologică depinde de productivitatea fotosintezei, însă ea nu reprezintă toată cantitatea de substanță organică acumulată de plante în cursul vegetației în acest proces. Trebuie să se știe că, concomitent cu acumularea de substanțe organice în procesul fotosintezei, are loc și un consum de substanțe organice în procesul respirației, care uneori poate fi de 25—30%. Prin urmare, recolta biologică este reprezentată în general prin fotosinteza productivă și reprezintă numai o parte din fotosinteza globală sau reală. Și totuși, aceasta nu este totul. În afară de respirație, plantele, în timpul vegetației, mai pierd inevitabil substanțe organice prin căderea florilor, fructelor tinere, frunzelor, prin moartea perilor absorbanți ș. a. Toate aceste pierderi, dacă se însumează, ajung să reprezinte o pierdere de aproximativ 50%. Ca urmare, recolta biologică va reprezenta aproximativ 50% din fotosinteza globală (reală).

Cunoașterea acestei relații dintre fotosinteză și recolta biologică dă posibilitate omului să-și îndrepte eforturile spre obținerea de recolte cît mai mari. Desigur că acest efort trebuie îndreptat în sensul măririi productivității fotosintezei. Aceasta se poate realiza prin semănatul rațional al plan-

Scanned with OKEN Scanner

telor, astfel ca frunzele să-şi poată desfăşura din plin activitatea fotosintetică. În legătură cu această problemă este necesar ca să li se asigure plantelor cît mai multă lumină, cel puţin în prima jumătate a zilei, cînd fotosinteza decurge cu intensitate maximă la cele mai multe plante. O altă posibilitate prin care se poate mări productivitatea fotosintezei este legată de obţinerea la plante a unei suprafeţe mai mari de asimilaţie. La acest obiectiv se ajunge dacă se asigură plantelor apă şi substanţele minerale necesare, o cantitate sporită de bioxid de carbon în atmosfera din jurul lor.

B. CHIMIOSINTEZA

La începutul capitolului s-a arătat că în afară de plantele autotrofe fotosintetizante, există şi cîteva grupuri de plante fără clorofilă, aparţinînd bacteriilor care se numesc autotrofe chimiosintetizante. După felul lor de nutriţie cu carbon, acestea se aseamănă cu fotosintetizantele. Ele, ca şi fotosintetizantele, sintetizează glucide din bioxidul de carbon şi apă, însă se deosebesc prin felul cum îşi procură energia necesară pentru sintetizarea glucidelor. Bacteriile la care ne referim folosesc energie chimică, pe care şi-o procură oxidînd substanţe anorganice. Astfel de sinteză este cunoscută sub numele de chimiosinteză, din cauza energiei chimice folosite în locul energiei solare.

Exemple de bacterii chimiosintetizante ne oferă nitritbacteriile aparţinînd genurilor *Nitrosomonas, Nitrosocistis, Nitrosococcus* etc. şi genului *Nitrobacter* (fig. 79). Primele trei genuri îşi procură energia necesară pentru sintetizarea glucidelor din oxidarea amoniacului (NH_3) pînă la acid nitros (acid azotos), iar ultimul gen, din oxidarea acidului nitros pînă la acid nitric. Produsul care rezultă în urma oxidării — nitraţii — sînt sursă de azot pentru plantele verzi superioare.

Există alte bacterii care oxidează substanţe ca hidrogenul sulfurat (H_2S) pînă la acidul sulfuric, sau sărurile feroase pînă la sărurile ferice. Acestea sînt sulfobacteriile şi ferrobacteriile. Produşii activităţii lor, sulfaţii şi sărurile ferice, sînt de asemenea surse de sulf şi de fier pentru plantele superioare.

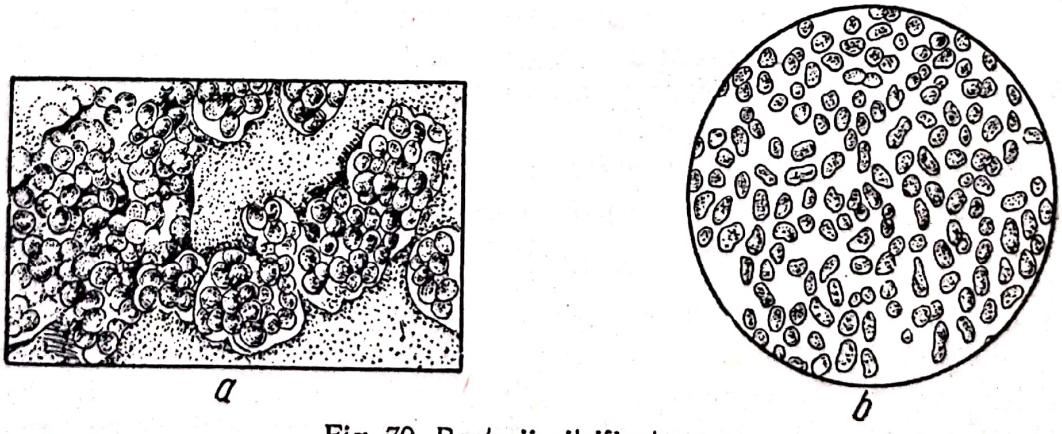


Fig. 79. Bacterii nitrificatoare:
a — *Nitrosomonas*; *b* — *Nitrobacter* (după Bonnier)

Scanned with OKEN Scanner

C. HETEROTROFIA

La numeroase plante inferioare și la unele plante superioare clorofila lipsește complet. Astfel de plante, nefiind capabile să-și sintetizeze substanța proprie în procesul de creștere și de autoreînnoire din bioxidul de carbon și apă, s-au adaptat să folosească ca sursă de carbon substanțe organice elaborate de către autotrofe sau de către alte heterotrofe.

Între plantele *heterotrofe* și *autotrofe* nu se pot stabili limite nete. Cercetările din ultimii 40 de ani au demonstrat că și heterotrofele asimilează bioxid de carbon, însă nu complet. Din bioxidul de carbon, heterotrofele nu pot niciodată să-și sintetizeze glucidele, pentru că ele n-au posibilitatea să-și procure energia necesară pentru sintetizarea acestora. De aceea, heterotrofele absorb din mediul în care trăiesc substanțele organice pe care, oxidîndu-le, își procură energia de care au nevoie în sinteza substanței vii proprii.

Din grupul plantelor heterotrofe fac parte majoritatea bacteriilor și ciupercile, dar și unele plante vasculare, care au pierdut capacitatea de a sintetiza substanțe glucidice pe seama CO_2 și H_2O.

După felul cum își procură energia, deosebim mai multe categorii de plante heterotrofe: 1) heterotrofe saprofite; 2) heterotrofe parazite și semiparazite; 3) heterotrofe simbionte.

Plantele saprofite (numeroase bacterii, ciuperci și unele plante superioare) își procură energie oxidînd substanțele organice pe care le absorb din corpurile putrezite (sapros=putrezit; trepho=a hrăni).

Plantele parazite [unele bacterii, numeroase ciuperci, unele plante superioare ca: cuscuta, lupoaia (fig. 80)], își procură energia din substanțele organice pe care le absorb din corpurile vii pe care le parazitează (para=alături; trepho=a hrăni).

Plantele semiparazite [numite plante superioare, cum sînt *Rhinantus*, parazitează gramineele (fig. 81). *Melampirum* — pe plantele din fînețele montane, vîscul alb (*Viscum*) pe plopi (fig. 82) și vîscul (*Loranthus*) care parazitează stejarul] își procură energia necesară sintetizării substanței proprii de la soare (ele fac fotosinteză, pentru că sînt verzi), dar și prin substanțele organice pe care le absorb din corpul plantelor pe care le parazitează. Deci, la aceste plante se întîlnește, alături de tipul de nutriție autotrof, și tipul de nutriție heterotrof. Aceste două moduri de nutriție, de altfel, se întîlnesc chiar la autotrofele fotosintetizante. Plante verzi pot fi considerate autotrofe complete la nivelul frunzelor prin asimiliarea CO_2 cu ajutorul clorofilei, în timp ce la nivelul rădăcinilor, asimilarea poate să fie autotrofă (sinteza proteinelor) sau heterotrofă.

Cercetări cu privire la nutriția cu carbon a plantelor semiparazite au făcut G. Bonnier, S. P. Kostîcev etc., iar în țară la noi acad. prof. N. Sălăgeanu (1936). Acad. N. Sălăgeanu a constatat că fotosinteza la semiparazite (*Rhinantus* etc.) este mai intensă decît la plantele neparazite din jurul lor, dar că ele acumulează o cantitate mult mai

Scanned with OKEN Scanner

Fig. 80. Cuscuta parazitînd o tulpină lemnoasă (*a*) și lupoaia *(Orobanche)* parazitînd o tulpină de trifoi (*b*) :

1, *2* și *3* — fazele de germinație ale semințelor (după Dodel-Port, Errera și Laurent)

Fig. 81. *Rhinanthus*, plantă care parazitează plantele ierboase din pășuni, culturile de cereale

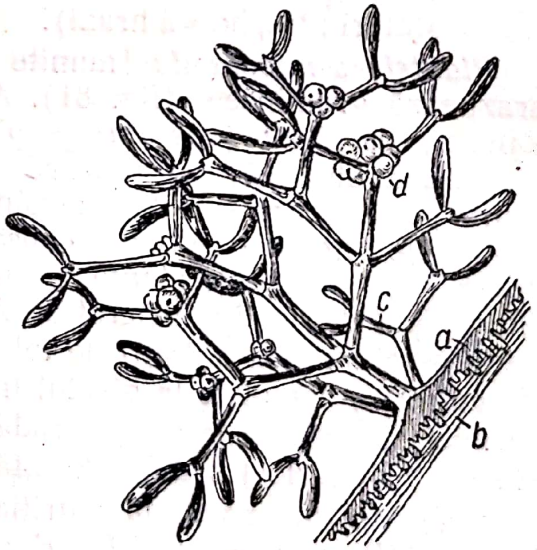


Fig. 82. Vîscul alb parazitînd o ramură de plop :

a — haustori; *b* — ramura de plop; *c* — ramurile vegetative ale vîscului; *d* — fructe (după Belzung)

Fig. 80. Cuscuta parazitînd o tulpină lemnoasă (*a*) și lupoaia *(Orobanche)* parazitînd o tulpină de trifoi (*b*) :

1, *2* și *3* — fazele de germinație ale semințelor (după Dodel-Port, Errera și Laurent)

Fig. 81. *Rhinanthus*, plantă care parazitează plantele ierboase din pășuni, culturile de cereale

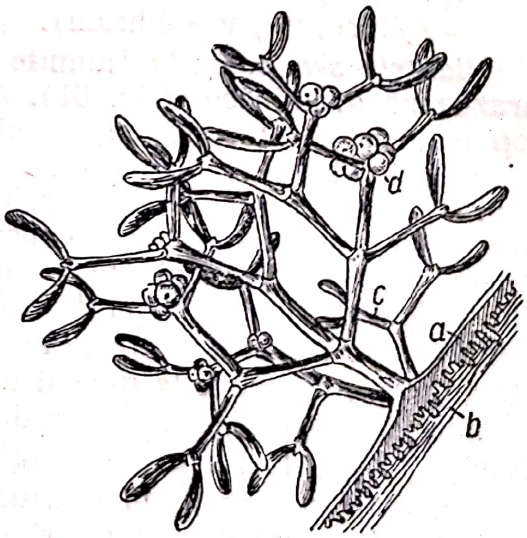


Fig. 82. Vîscul alb parazitînd o ramură de plop :

a — haustori; *b* — ramura de plop; *c* — ramurile vegetative ale vîscului; *d* — fructe (după Belzung)

mică de substanță organică (raportată la aceeași unitate de suprafață), pentru că ele o consumă intens în respirație.

Sînt și cazuri în care, chiar în organele verzi, au loc cele două tipuri de nutriție. Plantele „carnivore" (*Drosera, Dionaea, Nepenthes* etc.) asimilează heterotrof substanțele organice ale insectelor captivate la nivelul frunzelor care fac fotosinteză cu ajutorul enzimelor protolitice.

Am văzut că utilizarea surselor organice de carbon caracterizează în general heterotrofismul multor bacterii, al ciupercilor și al unor plante superioare. El însă poate avea mai multe nuanțe. Un loc important îl ocupă bacteriile prototrofe. Acestea nu pot folosi CO_2 ca sursă de carbon, dar pot fixa azotul atmosferic sub formă de hidroxilamină (NH_2OH), din care își sintetizează amino-acizii.

Unii reprezentanți ai prototrofelor, ca *Azotobacter, Clostridium pasteurianum*, trăiesc liber în sol, alții, ca *Rhizobium leguminosarum*, în simbioză cu rădăcinile plantelor leguminoase.

Un mod deosebit de nutriție cu carbon îl întîlnim la micorize (micos= =ciupercă ; rhize=rădăcină); ciupercile micoritice își procură energia necesară sintezei glucidelor lor proprii din substanțele organice produse de plantele verzi, pe care le absorb din celulele rădăcinii acestora (fig. 83).

Heterotrofele pot sintetiza cu ușurință glucidele, lipidele și proteinele (protide), iar ca materie primă pot utiliza monozaharide, acizi grași și aminoacizii.

În sinteza protidelor (substanțe care asigură înnoirea materiei vii uzate) un rol deosebit îl are acidul ribonucleic (ARN). Acidul ribonucleic din fracția solubilă a citoplasmei celulelor plantelor heterotrofe transportă amino-acizii la acidul ribonucleic informațional din fracția microzomilor, unde are loc sinteza proteinelor.

Este necesar să amintim și un alt aspect al heterotrofismului ; incapacitatea de a sintetiza numeroase molecule organice întrunite la un loc sub denumirea de vitamine. În lipsa

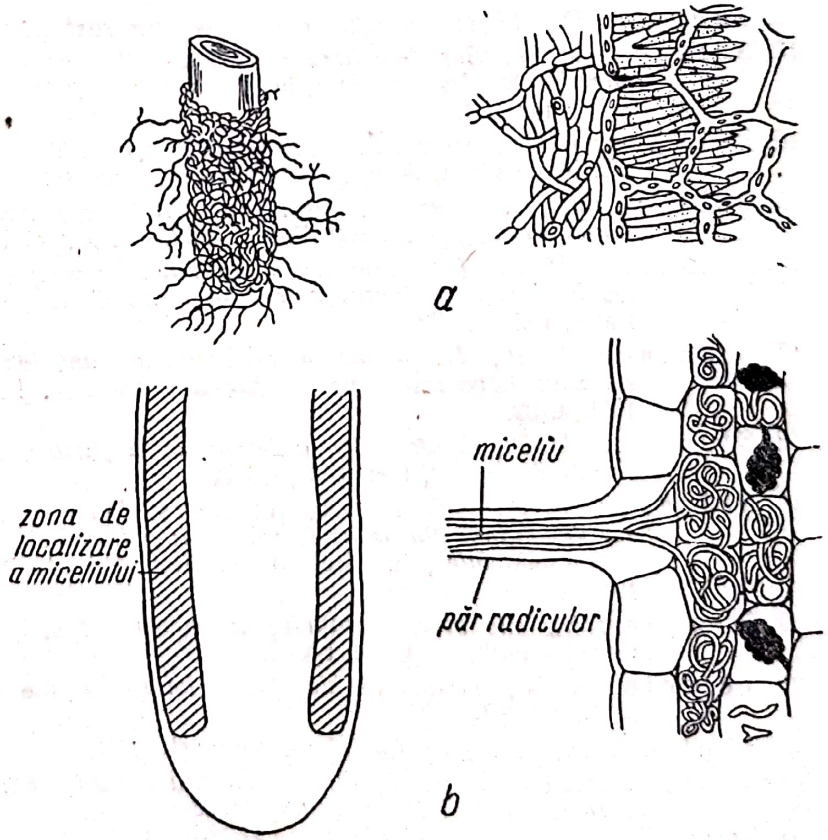


Fig. 83. Micoriză ectotrofă (*a*) și micoriză endotrofă (*b*)

unor vitamine necesare în procesele metabolice din celule, heterotrofele își încetează creșterea și dezvoltarea. Cum ele nu le pot sintetiza, le procură din substratul pe care trăiesc.

BIBLIOGRAFIE

1. Charles, I., *L'énergie chlorophylienne,* Paris, 1953.
2. Deleanu, N. T. și Dick, I., *Beiträge zur Kenntnis des Carotins,* în „Bul. Soc. de chimie din Romînia", București, 1933, vol. XIV, nr. 3—4.
3. Deleanu, N. T. și Dick, I., *Eine neue Methode zur Bestimmung des Chlorophylls,* în „Biochim. Ztschrift", 1934, vol. 267.
4. Godnev, T. V., Fotosinteza, Minsk, 1961.
5. Juraček, Alex., *L'accumulation transitoire des hidrates de carbone dans les feuilles de Vicia Faba L. à la lumière solaire directe et à l'ombre,* în „Bul. de la Sec. Sci", București, Acad. R., 1939, t. XXI, nr. 1—2.
6. Lundegärdh, H., *Pflanzenphysiologie,* Jena, Veb Gustav Fische Verlag, 1960.
7. Niciporovici, A. A., *Svetovoe i uglerodnoe pitanie rastenii* (*Fotosintez*), Izd-vo A. S.S.S.R., 1955.
8. Pop Emil, Peterfi Șt., Sălăgeanu, N. și Chirilei, H., *Manual de Fiziologia plantelor,* vol. I, București. Litografia și tipografia învățămîntului, 1957.
9. Rabinovici, E., *Fotosintez,* Moscova, vol. I (trad. din limba rusă).
10. Rabinovici, E., *La photosynthèse,* Paris, Gauthier-Villar, Editeurs-Imprimeur-Librairie, 1958.
11. Rubin, B., *Fiziologhia rastenii,* Moscova, 1954.
12. Sabinin, D., *Fiziologhiceskie osnovî pitania rastenii* (Fotosintez), Moscova, 1955.
13. Sălăgeanu, N., *Sur l'équilibre entre l'assimilation chlorophylienne et la respiration chez les feuilles aériennes,* în „Mem. Sec. St." București, Acad. R., 1933, ser. III, t. XV, mem. 4.
14. Sălăgeanu, N., *Uber den Tagesverlauft der Kohlensaureassimilation im Schatten,* „C. R. de l'Inst. de sc. de Roumanie", București, 1939, vol. III, nr. 5.
15. Sălăgeanu, N., *Uber die Gröβe der Kohlensaureassimilation Ausbeute einiger Laublätte,* în „Biol. Zentralblatt" 1942, vol. 62, caiet 1/2.
16. Stănescu, P. P., *Les variations quantitatives des substances hidrocarbonnées dans les feuilles des plantes vertes au cours d'une journée,* în „C. R. Acad. Sci.", Paris, 1926, t. 182.
17. Stănescu, P. P., *La production de l'amidon dans les feuilles des amylophiles qui en sont dépourvues par séjour à l'obscurité,* în „C. R. Soc. Biol.", Paris, 1926, t. 92.
18. Stănescu, P. P., *Contribution á l'etude de la photosynthèse,* în „Ann. Sci. de l'Université de Jassy", Iași, 1927, t. XIV.
19. Stănescu, P. P., Aronescu, Alice, și Mihăilescu, Gr. I., *Observations sur l'évolution diurne de l'accumulation transitoire de l'amidon dans les feuilles des amylophiles,* în „Bul. de la Sect. Sci. de l'Acad. Roumaine", București, 1932, nr. 6.
20. Strugger, S., *Die Strukturordnung in Chloroplasten,* in „Berichte der deutschen bot. Gesellschaft", 1954, vol. LXVI.
21. Terenin, N. N., *Fotohimia hlorofila i fotosintez,* 6-e Bahovskoe citanie, Moscova, A. N. S.S.S.R., 1951.
22. Timireazev, A. K., *Lucrări alese,* București, 1956.
23. Voskresenskaia, P. A., *Ob obrazovanii organiceskih i aminokislot pri fotosinteze v raznîh usloviah osveșenia,* Moscova, Izv. A. N. S.S.S.R., 1956, t. 3, nr. 1.
24. Willstätter, R. și Stoll, A., *Untersuchungen über der Assimilation der Kohlensäure,* Berlin 1918.

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul V

RESPIRAȚIA PLANTELOR

A. IMPORTANȚA RESPIRAȚIEI ÎN VIAȚA PLANTELOR

Respirația sau dezasimilația, cum i se mai spune, este procesul prin care organismele vii (plante și animale) au posibilitatea să folosească o parte din substanțele sintetizate în procesele de asimilare endotermice și să elibereze energia cuprinsă în ele, de care au nevoie în procesele lor vitale pentru menținerea vieții lor.

Noi am arătat că în fenomenele de asimilație a carbonului, atît la autotrofe (plante verzi fotosintetizante și bacteriile chimiosintetizante), cît și la heterotrofe (plante fără clorofilă), se acumulează în substanțele organice sintetizate energie chimică sub formă potențială. La plantele verzi, energia acumulată în substanțele sintetizate își are originea în energia solară absorbită în „cuante". La cele fără clorofilă, energia acumulată în substanțele sintetizate proprii lor își are originea în energia chimică inclusă în substanțele ce le servesc drept hrană și care, în ultimă instanță, își are originea tot în energia solară.

În respirație, o parte din substanțele sintetizate sînt degradate prin reacții de oxidare, și energia inclusă în ele este eliberată. Cantitatea acestei energii este în legătură cu natura substanței organice sintetizate care se consumă. Așa, de exemplu, cînd este degradat 1 gram de amidon se pun în libertate 4,2 kcal, la degradarea unui gram de glucoză se pun în libertate 3,9 kcal, a unui gram de substanță grasă — 9,2—9,4 kcal, iar a unui gram de substanță proteică — 5,7 kcal.

Procesul respirației este asemuit uneori cu arderea combustibilului, care este un proces de oxidare, pentru că se consumă oxigen și se eliberează CO_2, apă, căldură și lumină. Și în procesul respirației, în condiții obișnuite se consumă oxigen și se produce CO_2, H_2O și căldură (uneori chiar lumină). Această comparație nu-i justă. Ea ne poate ajuta să ne formăm o concepție simplă despre natura respirației, dar ea poate fi foarte superficială. În realitate, respirația organismelor se deosebește foarte mult de fenomene cum ar fi, de exemplu, arderea (oxidarea) lemnului sau cărbunelui în sobă. Arderea lemnului sau cărbunelui are loc la temperaturi foarte ridicate, este

Scanned with OKEN Scanner

violentă, în timp ce respirația se petrece la temperaturi obișnuite și nu-i violentă. Aceste deosebiri se datoresc faptului că în organismele vii intervin numeroase substanțe speciale numite enzime respiratorii. Enzimele respiratorii au molecula formată dintr-un substrat proteic (apoenzima) și o parte prostetică, care poate fi un atom de metal (Fe, Cu, Zn, Mn, Mg etc.), sau un complex de molecule organice, care pot fi adesea vitamine (vitamina PP, vit. B_1, vit. B_2, vit. B_5). Activitatea lor este influențată de temperatură, de *p*H, activatori și inhibitori etc.

Respirația este importantă în viața plantelor în primul rînd prin energia pusă în libertate din oxidarea substanțelor organice (glucidele, substanțele grase etc.), și în al doilea rînd prin produșii intermediari și finali care se formează în cursul procesului.

Energia care se eliberează, sub formă chimică sau transformată, este folosită în diferitele nevoi ale plantei : în diferitele sinteze care, în general, sînt endotermice (sintetizarea proteinelor, a substanțelor grase, a vitaminelor etc.), în procesul de polimerizare, în menținerea diferitelor potențiale electrice, pentru menținerea labilității protoplasmei. Potențialele electrice, din cauza diferitelor reacții, tind a se uniformiza, și atunci energia intervine pentru a anula această uniformizare.

Energia eliberată în respirație mai este folosită în absorbția și transportul substanțelor minerale nutritive în corpul plantelor, în creștere, în mișcările plantelor etc.

Produșii intermediari care iau naștere în reacțiile de oxidare sînt folosiți la sintetizarea proteinelor, a substanțelor grase, sterolilor, terpenelor etc.

Apa, unul din produșii finali ai respirației aerobe, numită și „apa endogenă", e folosită în diferitele reacții, iar bioxidul de carbon — produsul final atît al respirației aerobe, cît și anaerobe — e folosit de plantele verzi în fotosinteză.

B. TIPURILE DE RESPIRAȚIE LA PLANTE

După felul cum se fac oxidările, plantele se pot împărți în două grupuri : a) *aerobionte* ; b) *anaerobionte*.

a) *Aerobiontele* sînt organismele vegetale (aici pot intra și animalele) care întrebuințează în oxidarea substanțelor oxigenul liber din aer, din apă sau din sol. Oxidarea substanțelor în prezența oxigenului liber este completă, ea terminîndu-se cu formarea de bioxid de carbon și apă, substanțe lipsite de energie. Prin aceste oxidări complete, aerobiontele pun în libertate o mare cantitate de energie. Astfel, din oxidarea unei molecule-gram de glucoză (180 g) se pun în libertate 680 kcal. Procesul poate fi ilustrat prin ecuația :

$$C_{16}H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 680\ \text{kcal.}$$

La grupul plantelor aerobionte aparțin majoritatea plantelor, în special cele superioare (plantele cu flori). Procesul producerii de energie la

aerobionte în prezența oxigenului poartă numele de *aerobioză* sau *respirație aerobă*.

b) *Anaerobiontele* sînt organisme la care oxidarea substanțelor organice se realizează în lipsa oxigenului din aer. Oxidările care au loc în celulele corpului lor sînt incomplete, ele terminîndu-se cu formarea cel puțin a unui compus organic intermediar care conține energie și care este capabil să fie oxidat mai departe, și bioxid de carbon. Nu se produce apă. Prin aceste oxidări incomplete, anaerobiontele produc o cantitate mică de energie, cuprinsă între 16—30 kcal. Procesul oxidării în lipsa oxigenului din aer poate fi reprezentat prin ecuația :

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow \left\{ \begin{matrix} \text{alcooli} \\ \text{acizi} \\ \text{organici} \end{matrix} \right. + CO_2 + \text{energie (16—30 kcal)}.$$

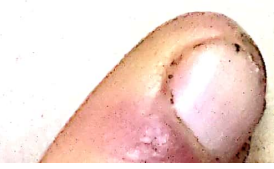
La grupul anaerobiontelor aparțin anumite plante inferioare (bacterii, actinomicete, ciuperci). Procesul prin care aceste organisme își produc energia poartă numele de *anaerobioză* sau de *respirație anaerobă*. Respirația anaerobă la plantele microscopice mai este cunoscută și sub numele de *fermentație*.

La plante, prin urmare, se întîlnesc două tipuri principale de respirație : respirația aerobă și respirația anaerobă. Respirația anaerobă, din punctul de vedere al dezvoltării istorice a organismelor, este tipul cel mai inferior. Primele ființe apărute pe planeta noastră, cînd în atmosferă nu exista oxigen liber, au avut o respirație anaerobă. Pe măsura acumulării oxigenului liber, în special în urma fotosintezei, la plante a luat naștere tipul de respirație aerob, care a luat o mare extensiune. Respirația anaerobă, prin urmare, a precedat respirația aerobă. Dar respirația aerobă, avînd originea în cea anaerobă, nu s-a izolat complet de ea, ci a păstrat legături strînse, și așa se explică existența ei la începutul respirației aerobe, constituind prima fază a acesteia. Interconexiunea dintre cele două tipuri de respirație va fi arătată mai pe larg cînd se va studia mecanismul respirației aerobe.

Procesul oxidării substanțelor organice are loc în toate celulele vii, însă acest proces, în cea mai mare parte se produce în mitocondrii, unde se găsesc localizate majoritatea enzimelor respirației.

C. RESPIRAȚIA AEROBĂ (OXIBIOZA)

Procesul respirației aerobe a plantelor a fost descoperit mult mai tîrziu decît la animale, din cauză că plantele nu prezintă mișcări respiratorii. Primele cunoștințe asupra acestui proces la plantele superioare le avem de la S c h e e l e (1777), care a arătat că dacă se țin semințe umectate într-un borcan acoperit, ele viciază aerul ca și animalele ; semințele absorb din aer gazul de foc-flogisticul, adică gazul oxigen descoperit mai tîrziu și elimină gazul deflogisticat, adică bioxidul de carbon.



Ingen-Housz descoperă că și alte organe ale plantelor necolorate în verde (rădăcinile, petalele) modifică aerul ca și semințele și animalele. Ulterior, Th. de Saussure (1809) a putut stabili că toate părțile plantei respiră, indiferent dacă sînt verzi sau nu și indiferent dacă sînt la lumină sau la întuneric. El arată chiar că respirația este un proces fiziologic deosebit de procesul fotosintezei. După el, Dutrochet (1837), și apoi A. Mayer, (1838) au susținut același lucru, adăugînd că, spre deosebire de fotosinteză, care are loc numai ziua, respirația are loc și noaptea.

Așadar, respirația aerobă, proces în care plantele absorb oxigen și elimină bioxid de carbon, este un proces contrar fotosintezei (în care se absoarbe bioxid de carbon și se elimină oxigen). Caracterul contradictoriu al acestor procese reiese și din faptul că în fotosinteză se formează substanțe organice (plantele acumulează carbon), iar în respirație se consumă substanțe organice (plantele pierd carbon).

Numeroasele cercetări efectuate arată că în procesul respirației aerobe, plantele pierd cantități mari de substanțe organice. Astfel, un hectar cultivat cu porumb (30 000 de plante la hectar), care, în genere, acumulează în 8 ore de fotosinteză 300 kg de substanță organică, pierde în 24 de ore aproximativ 175 kg, la temperatura medie de 20 °C.

Mari cantități de substanță organică pierd și semințele în germinație, cum se poate vedea din tabelul 21.

Tabelul 21

Scăderea greutății semințelor cîtorva plante de cultură într-o fază înaintată de germinație

Semințe	Nr. semințelor	Greutatea semințelor uscate, în g	Greutatea plantelor uscate, în g (rezultate prin germinare)	Scăderea greutății, în %, față de greutatea inițială
Grîu	40	1,665	0,712	57
Porumb	1	0,529	0,290	45
Mazăre	40	2,237	1,076	52

Cantități însemnate de substanțe organice pierd și alte produse vegetale în timpul păstrării în condiții necorespunzătoare (fructele, tuberculele de cartof, rădăcinile tuberizate).

1. Metodele de punere în evidență și de măsurare a respirației aerobe

Respirația aerobă se caracterizează, după cum s-a arătat, printr-un schimb de gaze între mediu și plantă. Planta absoarbe oxigen (oxigenul e absorbit prin toate organele, dar mai ales prin ostiolele stomatelor frunzelor) și elimină bioxid de carbon. Absorbția oxigenului sau eliminarea bioxidului de carbon de către plante ne dă posibilitatea, pe de o parte, să punem în evidență procesul respirației, iar pe de altă parte, să măsurăm intensitatea respirației.

Scanned with OKEN Scanner

Un material bun pentru punerea în evidență a respirației sînt organele lipsite de clorofilă (semințe în germinație, plante etiolate, rădăcini tuberizate, ciuperci ș. a.). În cazul cînd folosim organe verzi (frunze), trebuie să împiedicăm să se producă fotosinteza. Aceasta se realizează cel mai ușor și mai sigur dacă se face experiența la întuneric sau se eterizează plantele.

Respirația aerobă se pune cel mai ușor în evidență după bioxidul de carbon eliminat de materialul care respiră. În acest scop, el se introduce într-un cilindru de sticlă care se închide apoi ermetic cu un capac. Se lasă materialul să respire 24—48 de ore. Se ridică apoi capacul și se introduce în cilindru o lumînare (fig. 84) care arde cu flacără. Se constată că flacăra se micșorează din ce în ce, apoi se stinge, din cauză că în cilindru se găsește un gaz care nu întreține arderea. Acesta este bioxidul de carbon care s-a degajat din respirație în urma oxigenului absorbit, gaz care întreține arderea. Tot după bioxidul de carbon eliminat se mai poate pune în evidență respirația aerobă și în felul următor: în borcanul cu materialul de respirat se așază o farfurioară cu o soluție concentrată de hidroxid de bariu [$Ba(OH)_2$]. După scurt timp se constată că la suprafața soluției se formează un precipitat alb ca urmare a reacției soluției de hidroxid de bariu cu bioxidul de carbon cu care a venit în contact. Această reacție se poate exprima după ecuația:

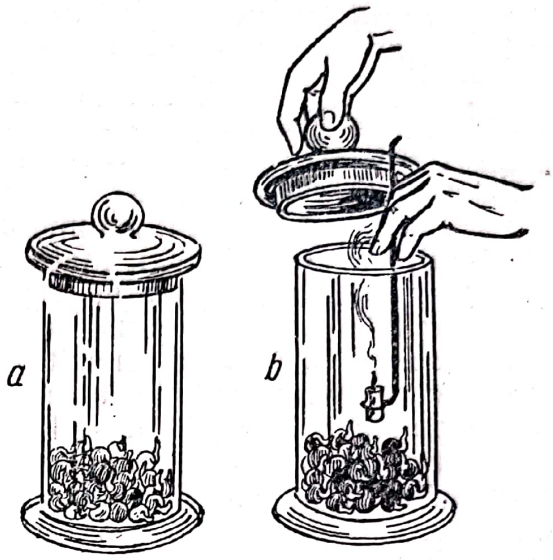


Fig. 84. Punerea în evidență a respirației aerobe:
a — borcan cu semințe germinate la începutul experienței; *b* — același borcan după cîteva ore de respirație

$$Ba(OH)_2 + CO_2 \rightarrow BaCO_3 + H_2O.$$

Din această reacție rezultă carbonat de bariu, insolubil în apă, care provoacă tulburarea soluției de hidroxid de bariu.

Respirația aerobă se mai poate pune în evidență și după oxigenul absorbit (metoda Garreau), cum se poate vedea din figura 85. Materialul vegetal, respirînd, absoarbe oxigen și degajă bioxid de carbon care, combinîndu-se cu hidroxidul de potasiu (KOH), formează carbonat de potasiu (K_2CO_3), solubil în apă. Ca urmare, presiunea din balon scade, și datorită acestui

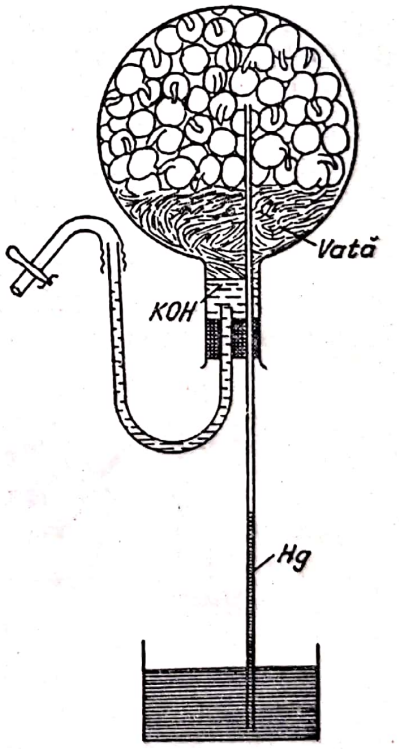


Fig. 85. Aparatul Garreau pentru demonstrarea respirației semințelor germinate

fapt mercurul se urcă în tubul capilar gradat. Înălțimea coloanei de mercur indică volumul oxigenului absorbit în timpul experienței.

Măsurarea cantitativă a intensității respirației se face ținînd seama de cantitatea de bioxid de carbon eliminat sau de oxigen absorbit de către materialul vegetal într-un interval de timp dat. Ea se poate face cu ajutorul eudiometrului, metoda Pettenkoffer, sau cu ajutorul respirometrelor.

Metoda eudiometrului permite determinarea intensității respirației după cantitatea de CO_2 eliminat. Materialul vegetal se introduce în eudiometre (tuburi gradate deschise la un capăt), și după ce se suspendă într-un mod oarecare, tuburile se răstoarnă într-un vas cu mercur (vezi fig. 63). În felul acesta se delimitează un anumit volum de aer. Se scoate apoi din eudiometru, cu ajutorul unei pipete speciale, o cantitate mică de aer și se determină conținutul în bioxid de carbon. După 1—2 ore de ședere se scoate din nou aer și se determină cantitatea de bioxid de carbon. Făcînd diferența între prima și a doua determinare putem aprecia cantitatea de CO_2 eliminat de materialul vegetal într-o oră sau două cît a durat experiența. Rezultatul se raportează la greutatea proaspătă și se exprimă în cm^3 sau în mg CO_2.

Metoda Pettenkoffer, de asemenea, permite determinarea intensității respirației după cantitatea de CO_2 eliminată. Materialul vegetal se introduce în niște tuburi în formă de „U" (recipiente), care sînt în legătură, pe de o parte, cu niște tuburi lungi, curbate puțin la unul din capete și care conțin o cantitate anumită de soluție de $Ba(OH)_2$ cu titrul cunoscut (n/20), iar pe de altă parte, cu vase în care se află calce sodată îmbibată cu o soluție concentrată de KOH (33%). Un capăt al tuburilor cu soluție de $Ba(OH)_2$ se află în legătură cu un regulator de presiune (fig. 86). Regulatorul de presiune se pune în legătură cu o trompă de vid care aspiră peste materialul vegetal aer lipsit de CO_2. Materialul respirînd, degajă CO_2 care, trecînd în tuburile cu soluție de $Ba(OH)_2$, este absorbit. Cantitatea de CO_2 eliminată într-un interval de timp dat (1—2 ore) se determină după creșterea în greutate a tuburilor cu soluție absorbantă sau prin titrarea soluției absorbante cu o soluție de HCl de același titru, în prezența fenolftaleinei. Rezultatul se exprimă în cm^3 CO_2 și se raportează la greutatea materialului în stare proaspătă.

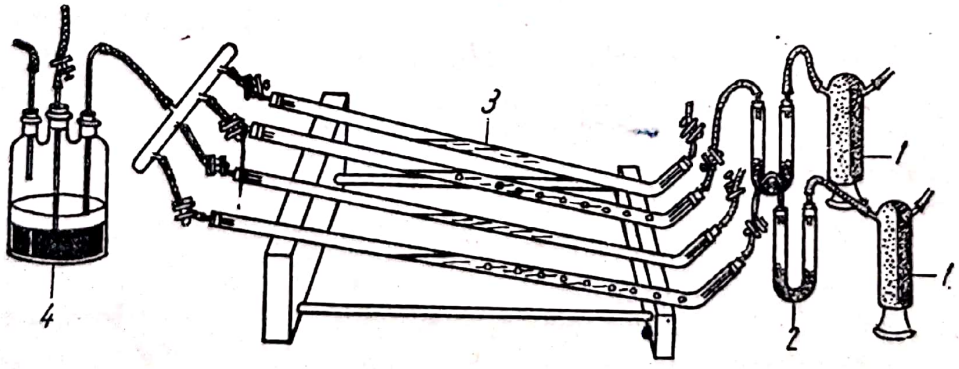


Fig. 86. Aparatul Pettenkoffer pentru determinarea intensității respirației după CO_2 degajat de materialul vegetal:

1 — vase cu calce sodată îmbibată cu soluție de KOH; *2* — tuburi în U cu materialul vegetal; *3* — tuburi cu soluție de $Ba(OH)_2$ titrată; *4* — regulator de presiune cu mercur

O metodă mai simplă și mai expeditivă totodată, care permite determinarea intensității respirației după cantitatea de CO_2 eliminată, este aceea a lui B o y s e n-J e n s e n. Dăm principiul metodei modificate. Drept recipiente, în care se introduce materialul vegetal, servesc balonașe cu capacitatea de 150—300 ml. În aceste balonașe se toarnă, cu ajutorul unei biurete, o cantitate de 10—20 ml soluție de $Ba(OH)_2$ n/20, apoi imediat se astupă cu cîte un dop de cauciuc, de a cărui parte inferioară, agățat de un cîrlig, atîrnă un săculeț de tifon în care se află materialul (fig. 87). Dopurile sînt străbătute de cîte un tubușor de sticlă pus în legătură cu cîte un tubușor de cauciuc, care servesc pentru a egala presiunea internă cu cea externă.

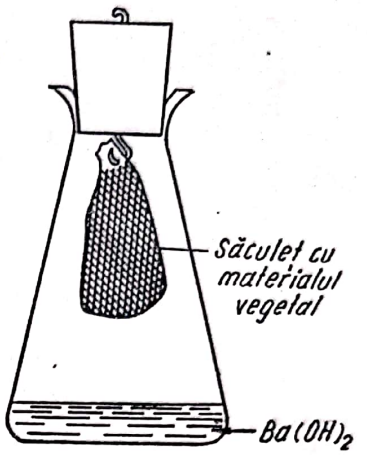


Fig. 87. Balon pentru determinarea intensității respirației

În acest scop, tuburile se lasă deschise timp de 10 minute pentru egalarea presiunii interne cu cea externă, apoi se închid cu cîte o bagheță de sticlă. Vasele, după ce se închid, se lasă în repaus. Dacă ele conțin material verde, se țin la întuneric. Se lasă materialul să respire 1—2 ore cel mult, după aceea se determină cantitatea de CO_2 pe care a absorbit-o soluția de $Ba(OH)_2$. Pentru aceasta se titrează soluția de $Ba(OH)_2$ cu o soluție de HCl n/20, în prezența fenolftaleinei ca indicator. Cantitatea de CO_2 găsită la determinare reprezintă gazul eliminat prin respirație și cel ce se găsea în balon, precum și cel care a pătruns în timpul dintre scoaterea și fixarea dopului. Pentru a determina cantitatea de CO_2 care n-a provenit din respirație, paralel cu experiența ne folosim și de baloane martor, în care se pune aceeași cantitate de soluție de hidroxid de bariu [$Ba(OH)_2$], dar fără materialul vegetal. Se face media rezultatelor, și prin scăderea valorii acesteia din valoarea primei determinări se află cantitatea de CO_2 eliminată în respirație. Pentru obținerea de rezultate cît mai precise, trebuie să se ia anumite precauții: 1) întrucît materialul respiră într-un spațiu închis și presiunea oxigenului scade progresiv, iar a CO_2 crește, fapt ce influențează respirația, e necesar ca experiența să nu dureze mai mult de 2 ore; 2) pentru ca să fie fixată de soluția absorbantă cantitatea de CO_2 eliminată, baloanele trebuie să aibă fundul cît mai larg, și în timpul experienței să se agite baloanele cît mai des, pentru a se înlesni absorbția CO_2.

Metoda respirometrului permite determinarea intensității respirației după oxigenul absorbit. În acest scop se folosește aparatul lui W a r b u r g. Aparatul constă din 12—24 de respirometre (fig. 88) fixate pe un cadru care, cu ajutorul unui motor electric, poate executa mișcări de legănare într-o baie cu apă. Mișcarea respirometrelor este necesară pentru menținerea în jurul lor a unei temperaturi constante. Un respirometru constă dintr-un vas de sticlă A (receptor) care se pune în legătură cu un manometru B, umplut pe jumătate cu un lichid uleios (taurocolat de sodiu) și care, la partea inferioară, are un rezervor de cauciuc E. Recipientul A, în care se

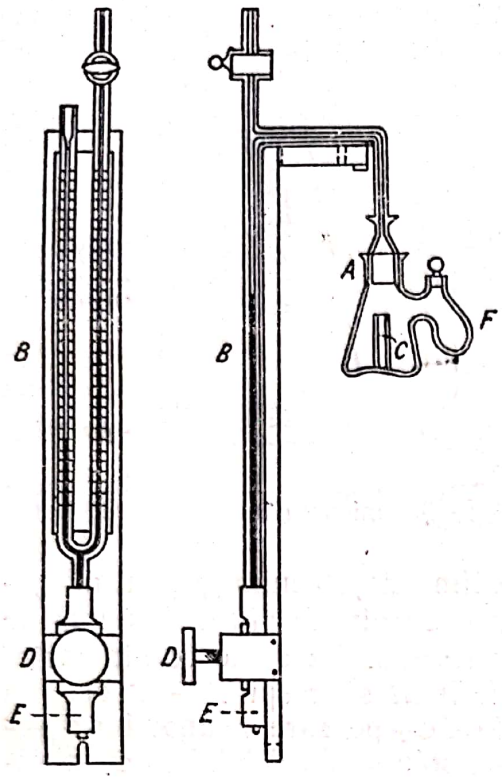


Fig. 88. Aparatul Warburg pentru determinarea intensității respirației :
A — receptor în care se introduce materialul vegetal; *C* — tubușor cu soluție de KOH; *F* — anexă la vasul *A* pentru HCl; *B* — manometru; *D* — robinet pentru reglarea presiunii; *E* — rezervor de cauciuc pentru lichidul manometric

introduce materialul vegetal, a cărui respirație vrem să o determinăm, are lateral un recipient mai mic F, în care să toarnă acid clorhidric, iar în interior, fixat de fund, un tubușor C în care se pune soluția de KOH care să absoarbă CO_2 eliminat din respirația materialului. Cantitatea de oxigen consumată în respirație de materialul vegetal se apreciază după micșorarea volumului de gaz din sistemul vas-manometru. Pentru a afla cantitatea de CO_2 eliminată în respirație și fixată de soluția de KOH, se înclină recipientul așa fel ca HCl să se amestece cu KOH. Se apreciază cantitatea de CO_2 absorbită de KOH după creșterea volumului de gaz din manometru.

Pentru obținerea de rezultate precise trebuie luate o serie de precauții : 1) pentru a realiza o temperatură uniformă în receptoare se lasă deschise o jumătate de oră din momentul cufundării lor în baia cu apă, apoi, după trecerea timpului respectiv, se închid robinetele și se notează momentul începerii experienței ; în experiențele cu acest aparat, citirile la manometre se fac la fiecare 15—30 de minute, citirea repetîndu-se de 2—3 ori ; volumul citit la fiecare manometru primește corecția corespunzătoare după constantele de etalonare ale aparatului ; 2) sistemul să fie ermetic închis în timpul cît se fac citirile.

2. Intensitatea respirației aerobe la plante

Diferitele specii și soiuri de plante, în condiții de temperatură apropiate, respiră cu intensități diferite. Dintre plantele cu flori, cerealele, de exemplu, respiră mai intens decît fasolea, iar aceasta mai intens decît plantele suculente (cactaceele, crasulaceele etc.). Dintre plantele inferioare respiră intens bacteriile aerobe, ciupercile (mucegaiurile, ciupercile cu pălărie). Acestea respiră de cîteva sute de ori mai intens decît plantele verzi, ceea ce înseamnă că în celulele lor, oxidarea substanțelor organice se realizează cu o mare intensitate.

Deosebiri, în ceea ce privește intensitatea respirației, se constată chiar la organele aceleiași plante. La o plantă cu flori, cel mai intens respiră florile în momentul deschiderii (în primul rînd pistilul, apoi staminele și sepalele și la urmă petalele). Mai puțin intens decît florile respiră frunzele,

Scanned with OKEN Scanner

fructele, tulpinile, iar cel mai puțin intens rădăcinile. Respiră intens și semințele în germinație, și mugurii în momentul desfacerii.

Și la diferitele țesuturi se constată deosebiri cu privire la intensitatea respirației ; de exemplu, țesuturile interne ale unui fruct cărnos, ale unei tulpini lemnoase, ale tuberculelor sau bulbilor respiră mai puțin intens decît cele externe, pentru că accesul oxigenului este mult îngreuiat. În tabelul 22 prezentăm, după diferiți autori, intensitatea respirației la cîteva plante, organe și țesuturi vegetale.

Tabelul 22

Intensitatea respirației la cîteva plante, organe și țesuturi de plante

1 — Specia de plantă	Intensitatea respirației în cm^3 CO_2/oră la 1 g material proaspăt				Temperatura, în °C	Autorii
Grîu (planta întreagă)	291,00				13	Stiles Walter și William Leach (Resp. in plants 1952)
Fasole (planta întreagă)	96,60				12	
Cactee (*Cereus*)	3,00				13	
2 — Floare	Sepale	Petale	Stamine	Pistil		Idem
Flori de mac (*Papaver*)	0,390	0,367	1,041	0,690	22	
Flori de nalbă (*Malva*)	0,615	0,303	0,576	0,894	22	
Flori de lumînărică (*Verbascum*)	0,747	0,177	0,762	0,815	23	
3 — Organul	Intensitatea respirației, în mg CO_2/24 ore la 1 g substanță uscată				Temperatura, în °C	B. A. Rubin
Frunze de grîu	138,7					
Frunze de tei	92,4					
Rădăc. tînără de grîu	53,4					
Rădăc. tînără de ovăz	31,0				15—20	
Rădăc. tînără de sfeclă de zahăr	6,7					
Tubercule de cartofi (întregi)	2,35					
Coajă de cartofi	11,3					
Lămîi (fruct întreg)	12,4					
Coaja de lămîie	69,3					
Semințe încolțite de floarea-soarelui	43,7					
Semințe încolțite de muștar	53,3					

Aceste date ne dau indicația că la temperaturi aproximativ apropiate, intensitatea respirației variază cu specia de plantă și cu diferitele organe și țesuturi, precum și cu poziția țesuturilor într-un organ.

Problema nouă care se pune este de a răspunde : cine determină aceste diferențe considerabil de mari în intensitatea respirației ? Se poate da răspunsul la această întrebare numai dacă avem în vedere natura substanțelor

Scanned with OKEN Scanner

care se consumă în procesul respirației, diferiții factori interni, cum ar fi concentrația substanțelor și a enzimelor respiratorii etc., precum și diferiții factori externi, cum sînt: temperatura și concentrația atmosferei în O_2 și CO_2.

3. Substanțele care se consumă în respirație. Cîtul respirator

Principalul material al respirației aerobe îl constituie glucidele, totuși nu trebuie subapreciat rolul substanțelor grase (lipidelor), cît și al proteinelor (acizilor aminici) ca substanțe folosite în respirație.

Unele plante superioare și multe microorganisme aerobe (*Azotobacter*) folosesc ca material și alte substanțe, de exemplu manită (alcool monoatomic). Manita este folosită în respirație de către lăstarii de frasin, fructele de măslin, de planta parazită lupoaia (*Orobanche*). În timpul păstrării, prunele și perele folosesc în respirația lor, pe lîngă glucide, și sorbită (alcool hexatomic). Ele consumă în respirație mai întîi sorbită, și apoi zahărul (fig. 89).

Plantele superioare, cînd dispun de puține glucide, consumă în respirația lor și acizi organici neazotați (acid oxalic, acid citric, acid malic, acid tartric etc.). Proporția în care sînt consumate aceste substanțe variază la diferitele plante sau organe, ba chiar la organele aceleiași plante, în funcție de condițiile de viață în care trăiesc plantele etc.

Plantele, pentru ca să oxideze substanțele ce constituie substratul respirator, absorb oxigenul din mediul care le înconjoară într-o anumită proporție și elimină bioxidul de carbon în altă proporție. Există deci între cantitatea de CO_2 degajat și de O_2 absorbit un anumit raport. Acest raport între $\frac{CO_2 \text{ degajat}}{O_2 \text{ absorbit}}$ poartă numele de *cît respirator* și se notează simbolic cu Qr. Cunoașterea valorii acestui cît este de mare importanță, pentru că el ne indică variația fenomenelor de aerobioză. Cîtul respirator are valori diferite în funcție de natura substanței care se oxidează, adică mai precis de bogăția în oxigen a moleculelor care se oxidează.

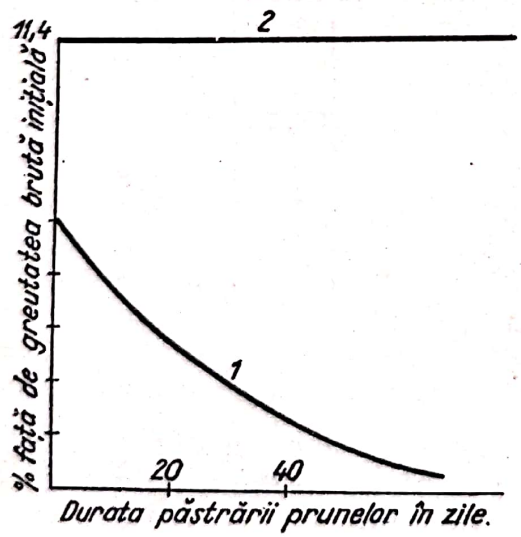


Fig. 89. Consumul de sorbită (*1*) și de zaharuri (*2*) pentru respirația prunelor în timpul păstrării (după V. L. Kretovici)

În cazul cînd în plantă, în organele ei se oxidează glucide, Qr are valoare egală, teoretic, cu unitatea (1).

Această valoare se deduce din ecuația:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O;$$

$$Qr = \frac{6CO_2}{6O_2} = 1.$$

Practic, cînd în celulele organelor vegetale se consumă în respirație glucide, valoarea cîtului respirator este de 0,95—0,98, pentru că în țesuturi, alături de oxidarea glucozei, se produc anumite procese însoțite de o consumare suplimentară de oxigen.

Cîtul respirator are o valoare mult mai mică decît unitatea în cazul cînd într-un organ vegetal se consumă substanțe grase (cazul semințelor oleaginoase), proteine sau se formează acizi organici (în fructele în curs de creștere). Astfel, în urma oxidării acidului palmitic se obține o valoare a cîtului respirator egal cu 0,69.

$$C_{16}H_{32}O_2 + 23O_2 \rightarrow 16CO_2 + 16H_2O\,; \quad Qr = \frac{16CO_2}{23O_2} = 0{,}69.$$

Această valoare se explică prin aceea că în germinarea semințelor oleaginoase, acizii grași, săraci în oxigen, se transformă în glucide care conțin mult oxigen. În acest caz oxigenul e consumat nu numai pentru respirația semințelor, ci pentru transformarea substanțelor grase în zahăr.

Valori mai mari decît unitatea, ale cîtului respirator, se obțin în procesul coacerii semințelor oleaginoase, cînd din zaharuri se formează substanțele grase, ca urmare a faptului că o parte a oxigenului întrebuințat pentru respirație este luat de la glucide.

$$6C_6H_{12}O_6 + 13O_2 \rightarrow C_{16}H_{32}O_2 + 20CO_2 + 2H_2O\,;$$

$$Qr = \frac{20CO_2}{13O_2} = 1{,}53.$$

De asemenea, valori mari ale cîtului respirator se obțin în etapele timpurii ale germinării unor semințe al căror înveliș compact nu este destul de permeabil pentru oxigen (se produce o dată cu respirația aerobă și respirația anaerobă), precum și la plantele cu organe bogate în acizi organici neazotați: acid oxalic, malic, citric, tartric etc. Dintre plantele care acumulează în organele lor acizi organici menționăm plantele suculente (crasulaceele, cactaceele etc.). În cazul cînd se oxidează acidul oxalic, Qr=4, iar dacă se oxidează acidul malic, Qr=3.

În tabelul 23 sînt date valorile cîtului respirator la cîteva plante, organe și țesuturi vegetale.

Din tabel se vede că valoarea cîtului respirator este dată de substanțele care se folosesc cu predilecție în respirație. Ținem să arătăm că valoarea cîtului respirator se poate schimba chiar la același organ. Un exemplu ni-l oferă prunele în stare verde (fără aromă), valoarea Qr=0,85; în stadiul de aromă, Qr=1,25, iar în stare galbenă (cu aromă tare), valoarea Qr=2,70. Această situație se găsește și la pepenele galben, la tomate, la fructele de smeură care se coc, la coacăze și la fructele de scoruș (*Sorbus aucuparia*). În cazul acestor organe, creșterea valorii cîtului respirator, pe măsura coacerii lor, se explică prin scăderea conținutului în oxigen și creșterea conținutului în bioxid de carbon. Creșterea cîtului respirator în timpul

Tabelul 23

Valoarea cîtului respirator la cîteva plante, organe şi ţesuturi vegetale
(după B. A. Rubin)

Material vegetal	Substanţele pe care le oxidează	Valoarea Qr-ului
Plantele de grîu în vîrsta de 8 zile	Oxidează glucide	0,96
Diferite frunze de plante	Oxidează glucide	1,00
Boabe de grîu încolţit	Oxidează glucide	1,00
Fructe coapte (mere)	Oxidează glucide	1,00
Tubercule de cartof	Oxidează glucide provenite din transf. amidonului	1,00
Coajă de lămîie	Oxidează glucide	0,99
Plantule de cînepă	Oxidează acizi graşi	0,55
Seminţe de in încolţite	Oxidează acizi graşi	0,65
Seminţe de in în cursul coacerii	Sintetizează uleiuri	1,22
Capsule de mac	Sintetizează uleiuri	1,51
Mere (după repausul de iarnă)	Oxidează acizi organici	1,50
Lămîi (fructe întregi)	Oxidează zaharuri şi acizi organici	1,03
Mandarine (fructe întregi)	Oxidează mai ales acizi organici	1,15
Miez de mandarine	Oxidează acizi organici	2,62
Miez de lămîie	Oxidează acizi organici	2,09
Coaje de mandarine	Oxidează zaharuri şi mici cantităţi de acizi organici	1,01

coacerii multor fructe este un indiciu fiziologic caracteristic coacerii. El ne arată totodată şi creşterea procesului de respiraţie anaerobă, în comparaţie cu respiraţia aerobă.

4. Influenţa factorilor interni asupra respiraţiei aerobe

Dintre factorii interni care influenţează intensitatea procesului respiraţiei menţionăm: concentraţia substratului respirator, adică cantitatea de substanţe organice ce trebuie oxidate, concentraţia enzimelor respiratorii, activatorii şi inhibitorii enzimelor, concentraţia sărurilor minerale în celule, gradul de hidratare a celulelor, vîrsta, stadiul de dezvoltare a plantelor sau organelor, starea de activitate şi de repaus. Influenţa concentraţiei substratului respirator este arătată în figura 90. Datele arată că pe măsură ce substratul glucidic se micşorează, respiraţia descreşte.

Concentraţia enzimelor. Influenţează de asemenea intensitatea respiraţiei. Dacă condiţiile de temperatură sînt corespunzătoare, dacă reacţia din celule este la fel corespunzătoare, atunci intensitatea respiraţiei creşte. Ea descreşte în cazul cînd nu sînt asemenea condiţii.

Inhibitorii şi activatorii enzimelor au o mare influenţă asupra respiraţiei. Clorura de sodiu, acidul monoiodacetic, diferiţii produşi rezultaţi din activitatea metabolică a celulelor au acţiune inhibatoare asupra enzimelor

respirației, cînd concentrația lor crește în celule. O substanță cu acțiune puternic inhibitoare a activității enzimelor respiratorii este acidul cianhidric (HCN). Acesta, administrat plantei în doze mici, oprește complet respirația, fără să omoare însă planta. Oprirea respirației se explică prin acțiunea de blocare pe care o exercită acidul în special asupra fermentului roșu respirator al lui Warburg, care este activatorul oxigenului. O acțiune identică are și oxidul de carbon (CO).

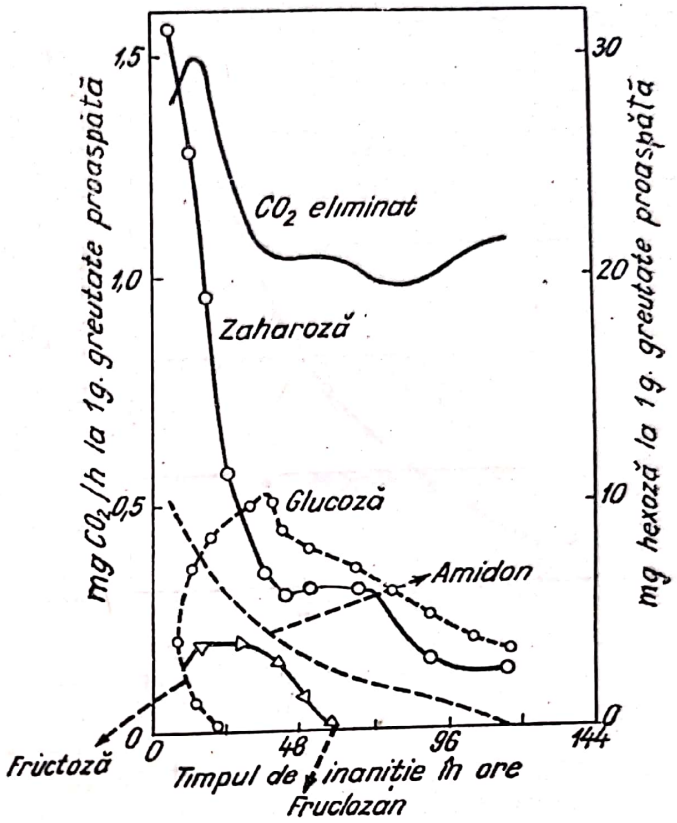


Fig. 90. Mersul respirației în frunzele de fasole ținute la întuneric în funcție de schimbarea concentrației glucidelor (după E. N. Jemm)

Substanțele nutritive, în special sărurile cu fosfor, potasiu, magneziu, dacă se administrează plantelor în concentrații mici, au acțiune stimulatoare asupra activității enzimelor respiratorii. Sărurile cu fosfor au o influență categorică. Se știe că fosforul, conform datelor recente ale biochimiștilor, este necesar fosforilării substratului respirator, fără de care nu se începe oxidarea în celule la temperatura obișnuită. Apoi, fără fosfor nu se sintetizează dehidrazele (dehidrogenazele) anaerobe specializate în transportul hidrogenului scos din substratul care, cedîndu-l, se oxidează. Activatori ai respirației sînt și sărurile de potasiu prin atomii radioactivi și care emană radiații, în special β. Aceste radiații favorizează formarea radicalilor acizilor grași care, combinîndu-se cu oxigenul, contribuie la formarea de peroxizi, oxidanți puternici. Acești peroxizi, acumulîndu-se în țesuturi, determină creșterea intensității respirației. Și sărurile de fier, cupru, mangan, zinc, cobalt, molibden, dacă sînt date în doze care să nu ducă la intoxicarea protoplasmei, intensifică respirația. Influența elementelor menționate, cuprinse în săruri, se explică prin aceea că intră în compoziția chimică a unor enzime activatoare.

Gradul de hidratare. Gradul de hidratare al celulelor unui țesut vegetal are o mare influență asupra intensității respirației. Semințele uscate, de pildă, respiră foarte slab. Dacă însă le îmbibăm cu apă, respirația se intensifică de cîteva zeci pînă la cîteva sute de ori. Creșterea intensității respirației, în funcție de gradul de hidratare, este ilustrată în figura 91.

In privința momentului cînd începe creșterea bruscă a intensității respirației, în funcție de hidratare, există deosebire între semințele amidonoase

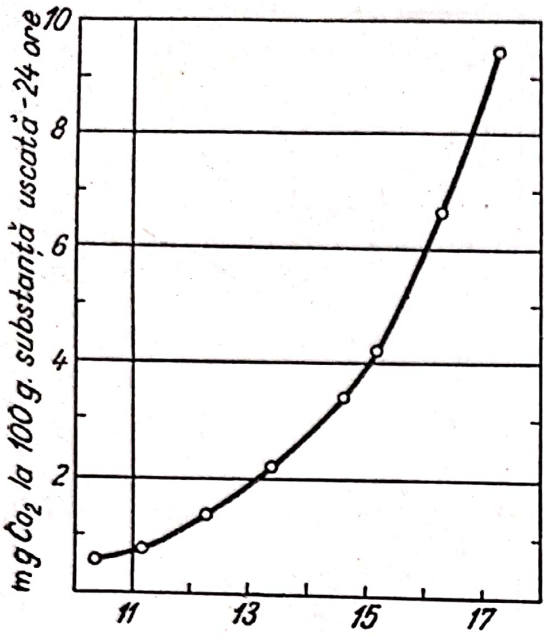


Fig. 91. Intensitatea respirației la semințele de soia în funcție de conținutul lor în apă (după P. E. Ramstad și F. W. Geddes)

și cele oleaginoase. La semințele amidonoase, intensitatea respirației crește brusc în momentul cînd conținutul lor în apă trece de 14—15%, pe cînd la cele oleaginoase, cînd trece de 8—9%. Se explică aceasta prin conținutul mare în ulei al acestor semințe, substanțe hidrofobe. Dacă se raportează cantitatea de 8—9% apă din greutatea seminței oleaginoase la partea hidrofilă a semințelor, reprezentată prin rezervele de amidon și proteine, se constată că ea corespunde la cantitatea de apă de 14—15%, la care începe să crească brusc intensitatea respirației semințelor amidonoase. Creșterea bruscă a intensității respirației peste conținutul în apă de 14—15% la semințele amidonoase și de 8—9% la cele oleaginoase, și care se numește „umiditatea critică", se explică prin aceea că în semințe, peste aceste procente, se acumulează apă liberă care are rolul de solvent și de mediu necesar îndeplinirii reacțiilor biochimice ale respirației. Sub „umiditatea critică", intensitatea respirației e slabă, pentru că apa e puternic legată de coloizii hidrofili. Această apă nu are rolul nici de solvent, nici de mediu pentru îndeplinirea reacțiilor chimice din embrionul semințelor. Experințele efectuate cu semințe și cu alte organe vegetale mai arată că excesul de apă, ca și deficitul mare de apă (sub 50% din umiditatea normală), determină scăderea intensității respirației.

Vîrsta. Vîrsta organelor vegetale are și ea o mare influență asupra intensității respirației, după cum se poate vedea din tabelul 24.

Tabelul 24

Intensitatea respirației la cîteva organe în funcție de vîrstă
(după B. A. Rubin)

Organul	Vîrsta, în zile	mg CO_2/oră la 1 kg material proaspăt
Frunze de varză albă „Amager"	3	314
	8	155
	31	67
	48	52
	70	27
Frunze de floarea-soarelui	22	300
	36	81
	50	46
	64	59
	136	8

Scanned with OKEN Scanner

Din tabel se vede că pe măsură ce frunzele îmbătrînesc, intensitatea respirației slăbește. Același lucru se constată și la alte organe, de exemplu la fructe. Cercetările lui F. Kidd și C. West (1930, 1933, 1936) cu diferite fructe cărnoase (mere și pere) arată că intensitatea respirației scade progresiv pînă în momentul coacerii lor, apoi se menține la o valoare relativ constantă. R. Ulrich, experimentînd cu fructe de tomate, constată, din contra, o creștere a intensității respirației pînă în momentul coacerii, și apoi o scădere. Acest mers al respirației în funcție de vîrsta fructului de tomate se explică prin creșterea activității unor enzime (catalaza, peroxidaza) pînă în momentul coacerii fructelor. La aceasta se adaugă, bineînțeles, și cantitatea protoplasmei active. Celulele unui țesut tînăr, care conține o cantitate mare de protoplasmă activă, respiră mai intens decît celulele unui țesut bătrîn, cu mai puțină protoplasmă activă.

Intensitatea respirației este influențată și de momentele, stadiile prin care trece planta. Biochimiștii N. M. Sisachian și I. I. Filipovici (1953) arată că la semințele de cereale de toamnă, intensitatea respirației crește pînă în a 15-a zi de iarovizare, apoi scade. Autorii explică aceasta prin creșterea activității cînd a unui sistem de enzime, cînd a altuia. La începutul iarovizării, în semințe crește activitatea citocrom-oxidazei, apoi scade (la grîu), sau se oprește (la orz). După 15 zile respirația se desfășoară pe seama polifenoloxidazelor și a ascorbinoxidazei, care își măresc activitatea și și-o mențin pînă la sfîrșitul iarovizării. După parcurgerea stadiului de iarovizare, respirația este din nou catalizată de citocromoxidază.

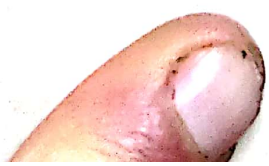
Starea de repaus. Starea de repaus a plantelor sau organelor lor (iarna, în timpul secetei) influențează foarte puternic intensitatea respirației. În timpul iernii, mugurii plantelor lemnoase și alte organe ale lor respiră foarte puțin intens din cauza temperaturilor scăzute. Semințele în stare de repaus au o respirație foarte slabă din cauza conținutului foarte scăzut în apă. La alte organe în stare de repaus (tubercule, bulbi etc.), intensitatea respirației este slabă, pe de o parte din cauza temperaturii scăzute, dar și din cauza inactivării enzimelor respiratorii de către inactivatori, care sînt puțin cunoscuți la ora actuală.

Influența factorilor interni menționați se corelează cu aceea a temperaturii, factorul extern care are cea mai mare influență asupra respirației.

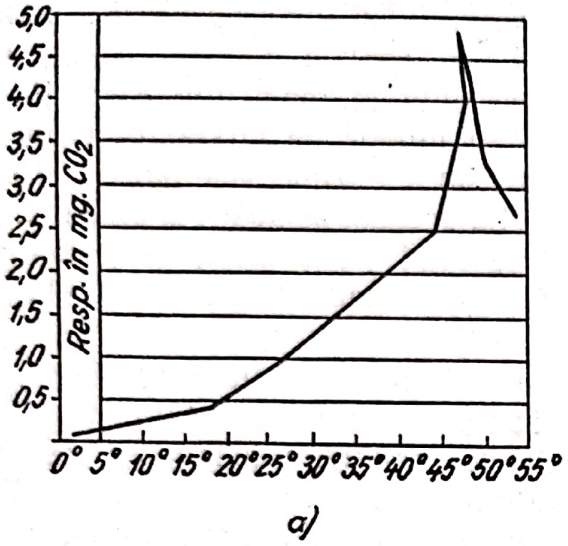
5. Influența factorilor externi asupra respirației aerobe

Factorii etxerni majori care influențează respirația sînt: temperatura, concentrația oxigenului și a bioxidului de carbon.

a) *Influența temperaturii.* La majoritatea plantelor în stare de viață activă, respirația începe la aproximativ 0 °C și crește pînă la 40—50 °C. Temperatura minimă la care începe respirația unui organ oarecare, apreciată



respirația începe la aproximativ 0 °C și crește pînă la 40—50 °C. Temperatura frunzele de pin, molid, pot respira la —20 °C, pe cînd vara, temperatura de —4 °C determină încetarea completă a respirației. Temperatura maximă peste care respirația scade brusc este cuprinsă, în genere, între 45 și 55 °C. Influența temperaturii asupra intensității respirației este ilustrată în figura 92 a.



Respirația este un proces chimic, și datele experimentale arată că dacă temperatura crește, atunci și intensitatea respirației crește cu de 2—3 ori la fiecare 10° temperatură în plus. Intensitatea creșterii procesului este exprimată prin simbolul Q_{10} și e numită „coeficient de temperatură". Între 0 °C și 35 °C, pentru multe feluri de țesuturi Q_{10}

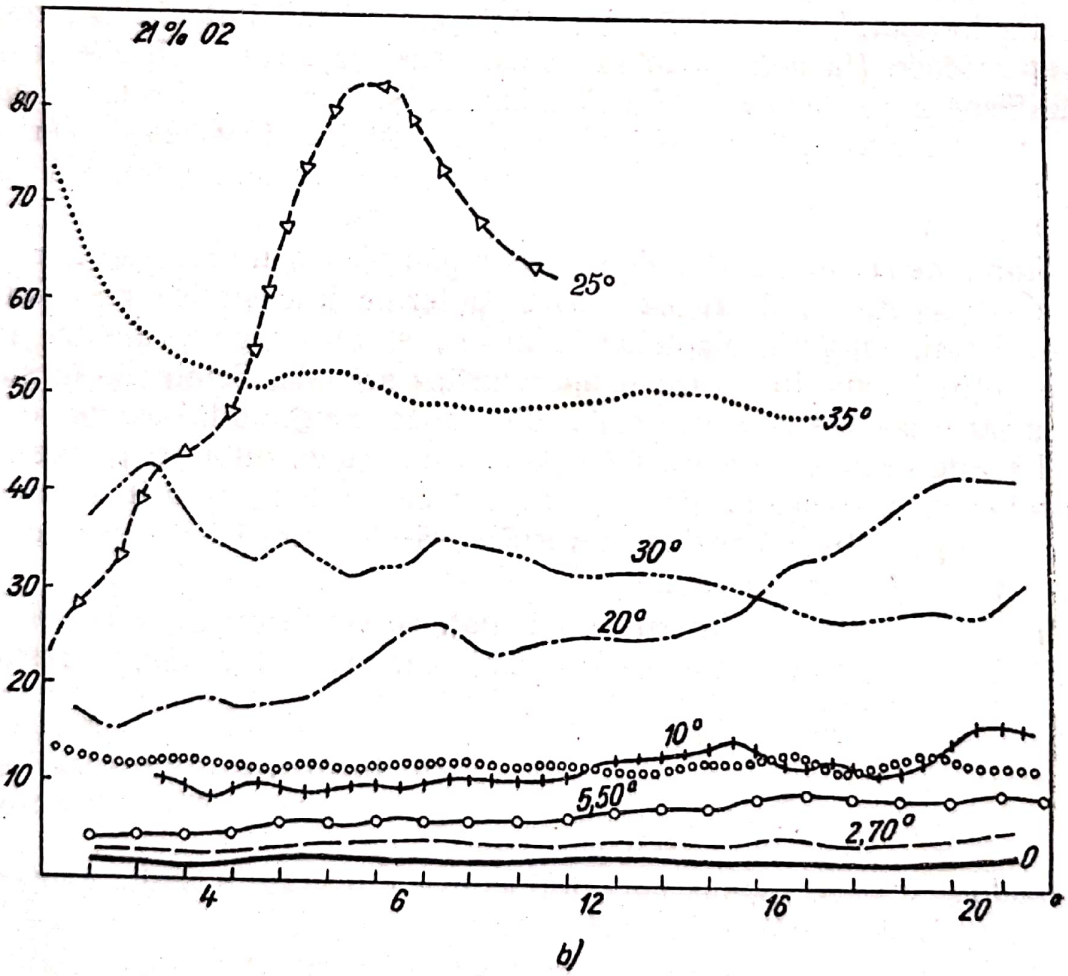


Fig. 92. Intensitatea respirației în funcție de temperatură:
a — în frunzele de cartof (după Lundegärdh); *b* — în prune (după Wickson, L. S. Claypool și F. W. Allen)

are valoarea egală cu 2,0—2,5. Peste 35 °C, intensitatea respirației poate arăta o creștere pentru o scurtă durată de timp, însă după 40 °C scade rapid, cum se poate vedea din tabelul 25.

Tabelul 25

Influența temperaturii asupra respirației unor organe vegetale în diferite faze de creștere
(după B. A. Rubin)

Organul	Intensitatea respirației, în mg CO_2/oră la 1 kg material proaspăt			
	10°	20°	30°	40°
Frunze de grîu de primăvară				
La apariția frunzei a 2-a	803	1 212	2 115	2 930
La împăiere	694	944	1 731	2 633
La maturitatea în lapte	439	825	1 712	2 538
Măr verde { coajă	103	354	87	—
Măr verde { miez	12	38	642	—
Măr copt { coajă	141	277	622	—
Măr copt { miez	24	50	83	—

Această scădere a intensității respirației peste 40 °C se datorește inactivării enzimelor și insuficientei aprovizionări a țesuturilor și organelor cu material respirator. Efectul temperaturii asupra intensității respirației, măsurată în mg CO_2 la prunele Wickson, se poate vedea din figura 92 b.

Cînd se compară producerea substanțelor organice cu folosirea lor, este interesant de notat că maximul intensității fotosintezei are loc la temperaturi mai joase decît intensitatea maximă a respirației (fig. 93). Acesta

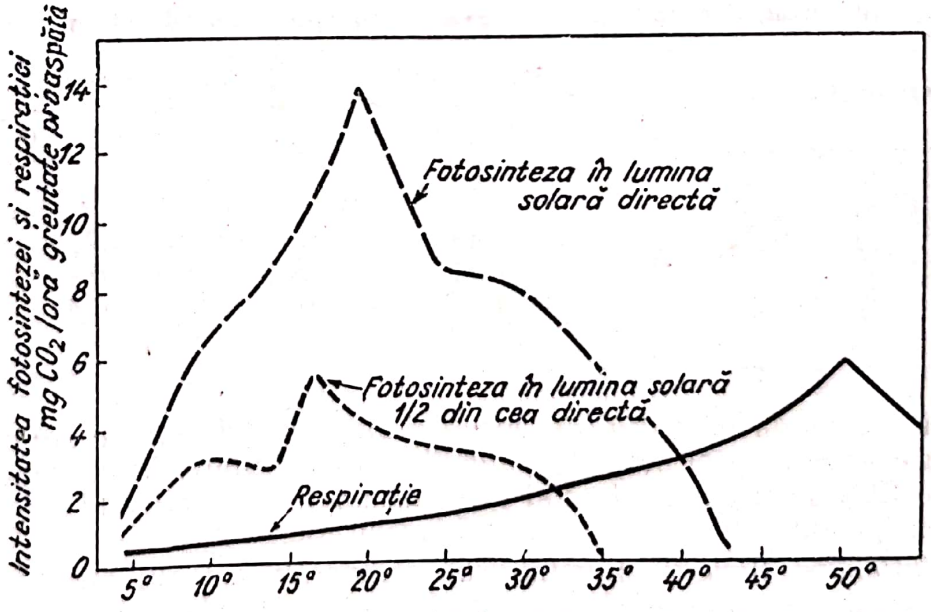


Fig. 93. Relația dintre respirație și fotosinteză în frunzele de cartof în decurs de 10 minute de expunere la lumină la diferite temperaturi (în condiții de umbră și în soare) (după Lundegardh)

este motivul că în timpul zilelor extrem de calde din timpul verii, intensitatea cu care se sintetizează substanțele organice nutritive în fotosinteză poate să fie egală cu intensitatea cu care sînt consumate în respirație. Dacă ne reamintim că respirația are loc fără întrerupere și ziua și noaptea, este evident că astfel de condiții persistînd pentru o perioadă lungă de timp, din cauza folosirii rezervelor în respirație, planta ajunge să piară.

b) *Influența concentrației oxigenului și a bioxidului de carbon.* Respirația este influențată de concentrația oxigenului și a bioxidului de carbon. Experiențele arată că creșterea concentrației oxigenului de la 21% (concentrația normală) și pînă la 50% accelerează intensitatea respirației și că se menține apoi constantă cu timpul. La o concentrație a oxigenului mai mare de 50%, intensitatea respirației este accelerată pentru o scurtă perioadă de timp, apoi scade brusc. Intensitatea respirației scade brusc și dacă concentrația oxigenului scade sub 5%, exceptînd doar orezul dintre plantele de cultură care nu-și modifică intensitatea respirației, chiar dacă concentrația O_2 este de 2%. Respirația la această plantă nu-i afectată de concentrațiile mici de oxigen, întrucît ea dispune în corpul ei de spații cu aer de unde se aprovizionează cu o parte din oxigenul necesar respirației.

Bioxidul de carbon, gazul care se elimină în procesul respirației aerobe, afectează puternic respirația dacă se concentrează în jurul organelor care respiră. De obicei, o concentrație de peste 5% CO_2 în jurul rădăcinilor, în solurile nestructurale, sub pavajele asfaltate, duce la oprirea respirației, și în consecință la pieirea plantelor. Influența concentrației bioxidului de carbon asupra intensității respirației se poate vedea din tabelul 26.

Tabelul 26

Influența creșterii concetrației CO_2 asupra respirației semințelor de muștar

Concentrația CO_2, în %	Oxigen absorbit	Bioxid de carbon eliminat
	cm³ O_2/oră	cm³ CO_2/oră
0	5,1	4,1
10	4,1	3,4
20	3,4	2,7
30	3,2	2,4
40	2,7	1,9
80	2,3	1,2

Nu întotdeauna creșterea concentrației bioxidului de carbon are influență inhibitoare asupra respirației. La lumină, frunzele ținute în concentrații ridicate de CO_2 au o respirație mai ridicată, pentru că, crescînd intensitatea fotosintezei, rezultă mai mult substrat de respirație.

c) *Influența luminii.* Lumina, în comparație cu alți factori externi, influențează puțin respirația. Influența luminii este nu numai directă, ci și indirectă, prin influența pe care o are asupra procesului fotosintezei, în care se formează substanțe organice ce se consumă în respirație.

Scanned with OKEN Scanner

d) *Influența factorilor mecanici.* Diferitele acțiuni traumatice ca: tăierea, înțeparea și alte acțiuni care duc la rănirea organelor vegetale, măresc temporar intensitatea respirației.

O acțiune traumatică poate fi considerată și infecția organelor vegetale de către ciupercile parazite. Semințele infectate își intensifică respirația față de cele neinfectate după aproximativ două zile de la infectare și crește, în genere, pînă în cea de-a opta zi, apoi scade, rămînînd totuși mai ridicată decît la semințele neinfectate. Efectul traumatic al infecției este același și în cazul cînd alte organe ale plantei sînt atacate, de exemplu cerealele atacate de tăciune sau rugină etc.

Creșterea intensității respirației datorită rănilor produse de om sau de animale se explică prin accesul mai mare al oxigenului și ridicarea temperaturii cu cîteva grade în zona rănită. Adesea, la intensificarea respirației în regiunile rănite ale organelor vegetale se adaugă și respirația ciupercilor care se instalează pe locul de rană. Dezvoltarea ciupercilor pe organele rănite este una din cauzele care grăbesc putrezirea acestor organe în timpul păstrării lor în depozite sau pivnițe. La creșterea intensității respirației în zonele rănite ale organelor vegetale contribuie și creșterea activității unor enzime: catalaza, peroxidaza, monofenol- și polifenoloxidazele.

D. RESPIRAȚIA ANAEROBĂ (ANAEROBIOZA)

A fost descoperită mai întîi la microorganisme (unele ciuperci, bacterii), apoi în țesuturile plantelor superioare. La plantele microscopice, respirația anaerobă, adică în lipsa oxigenului liber, se numește și *fermentație.* După natura produselor finale ce se formează, se deosebesc mai multe tipuri (feluri) de fermentație: alcoolică, lactică, butirică, acetică etc. Dintre aceste fermentații, cel mai bine studiată, sub aspectul biochimic, este fermentația alcoolică. Pasteur este acela care a dovedit că fermentația alcoolică nu-i un simplu proces catalitic, cum credeau Berzelius și Liebig, ci un proces biologic — „viață fără aer".

Procesul fermentației alcoolice în care drojdia de bere (fig. 94), cu ajutorul enzimelor pe care le elaborează, oxidează, în lipsa oxigenului, soluțiile zaharate (producîndu-se alcool etilic și CO_2 care se degajă în mediu), poate fi exprimat prin ecuația:

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2CH_3CH_2OH + 2CO_2 + 28{,}2 \text{ kcal.}$$

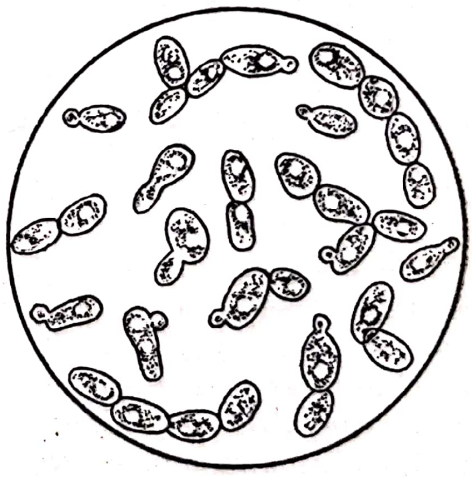
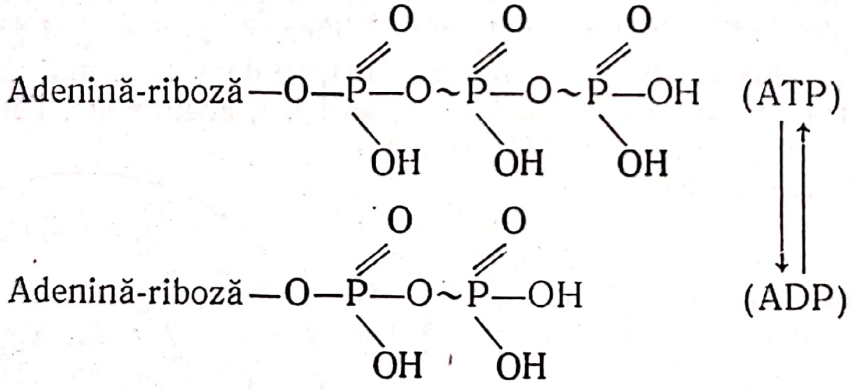


Fig. 94. Celule de drojdie de bere *(Saccharomyces cerevisiae)*

Din această ecuație se constată numai produșii care intră și care rezultă în urma fermentației. Ea prezintă în mod simplist procesul. În realitate, fermentația alcoolică este un proces extrem de complex, ce se desfășoară pe etape în care au loc multe reacții parțiale care se succed într-o ordine strict determinată. În fiecare etapă a procesului fermentației acționează diferite enzime, și datorită acestora se formează diferite substanțe, transformîndu-se unele din altele.

Cantitatea de energie care se degajă din fermentația alcoolică este mică, de numai 28,2 kcal pentru 1 moleculă gram de glucoză consumată. Astfel, drojdia de bere trebuie să cheltuiască o cantitate de zahăr mult mai mare decît prin respirația aerobă, pentru ca să-și asigure cantitatea necesară de energie. De aici apare clar faptul că respirația anaerobă nu-i economică din punctul de vedere material, că oxigenul care asigură respirația aerobă protejează planta împotriva consumului mare de substanțe organice.

Cercetările făcute de Z. A. Ivanov, A. Harden, I. Young arată că pentru începerea procesului fermentației alcoolice, glucoza trebuie, obligatoriu, să se combine cu acidul fosforic, fenomen numit *fosforilare*. În procesul de fosforilare, un rol important îl are adenozintrifosfatul (ATP), care este o combinație între o pentoză (riboză), adenină și trei molecule de acid fosforic. În cursul reacțiilor de fosforilare se desprinde din molecula de ATP acidul fosforic și se combină cu molecula de glucoză. Cu ocazia desprinderii acidului fosforic din molecula ATP se eliberează mari cantități de energie (9—12 kcal pentru 1 gram moleculă de acid fosforic). Prin desprinderea unei molecule de acid fosforic, ATP trece în ADP. Fenomenul este reversibil.

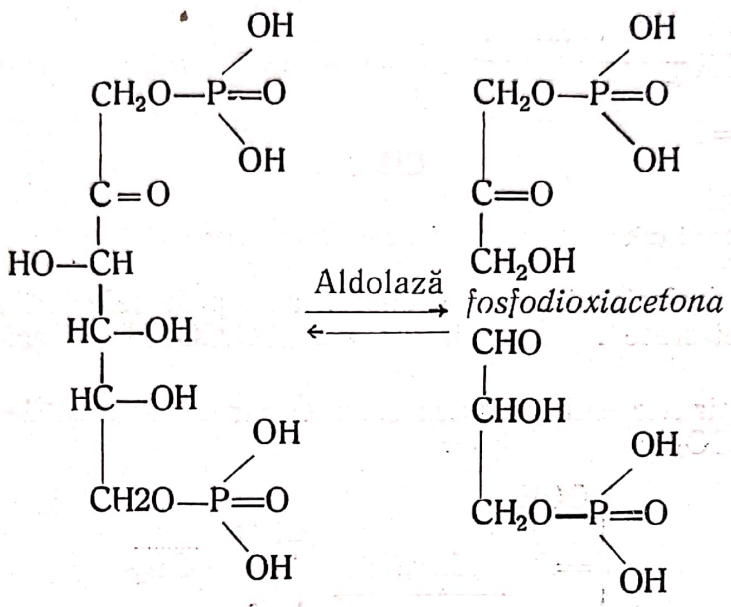


În molecula acestor substanțe, acidul fosforic formează legături foarte bogate în energie de un tip special, numite legături macroergice, care sînt indicate printr-un acil ~.

În mecanismul fermentației alcoolice, în mod simplificat se pot deosebi șapte etape, strîns legate între ele.

1) Formarea dintr-o moleculă de glucoză și două molecule de acid fosforic, sub acțiunea hexochinazei și a enzimelor fosfoglucomutaza și fosfohexoizomeraza, a esterului fructozo-6-difosfat : $C_6H_{10}O_4(H_2PO_3)_2$.

2) Scindarea moleculei de fructozo-6-difosfat sub acțiunea enzimei aldolaza în două molecule de fosfotrioze : aldehida fosfoglicerică și fosfodioxiacetona, conform ecuației :



1,6-difosfat de d-fructofuranoză

Aldehidă fosfoglicerică

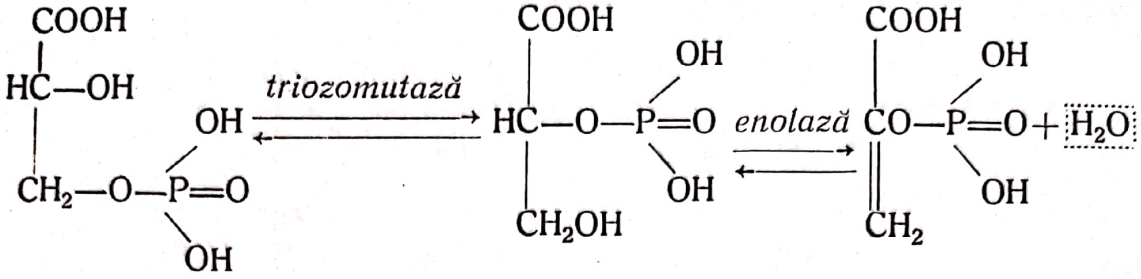
3. Două molecule de aldehidă glicerică, reacționînd între ele și adiționînd apă, sub acțiunea unei oxidoreductaze, dau un amestec echimolecular de acid fosfogliceric ($C_3H_5O_4$—H_2PO_3) și de ester glicerofosforic [fosfatul glicerinei ($C_3H_7O_3$—H_2PO_3)].

În această etapă are loc reducerea unei molecule de aldehidă, și în același timp oxidarea celeilalte molecule pe seama apei, adică are loc așa-numita reacție a lui Canizzaro, care joacă un rol important în transformarea substanțelor în organismele vii.

Reacția Canizzaro se realizează prin intermediul codehidrazei I (CoD I), o nucleotidă. Această reacție de deshidrogenare a aldehidei 1,3-fosfoglicerice în acid 1,3-fosfogliceric prin intermediul codehidrazei I este de mare importanță. Din ea se eliberează o mare cantitate de energie. Această energie se acumulează în legătura de tip special a ADP, care trece în ATP, principalul transportor de energie în organism. Tot în această etapă, fosfodioxiacetona, sub acțiunea unei dehidraze, se transformă în fosfatul glicerinei care, prin hidroliză, trece ușor în glicerină și acid fosforic, fapt ce explică prezența glicerinei ca produs secundar în fermentația alcoolică.

4. Restul de acid fosforic de la al treilea atom de carbon al acidului fosfogliceric migrează la cel de-al doilea atom, apoi, prin forma enolică și

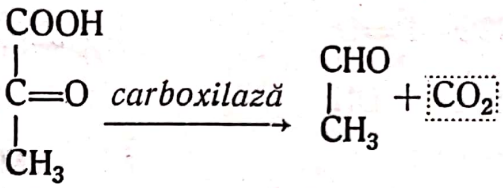
eliminarea unei molecule de apă, formează esterul fosforic al acidului piruvic.



Acid 3-fosfogliceric — Acid 2-fosfogliceric — Acid fosfoenolpiruvic

5. Esterul fosforic al acidului enolpiruvic, prin defosforilare sub acțiunea fosfoferazei trece în acid piruvic ($CH_3CO.COOH$) și acid ortofosforic (H_3PO_4).

6. Acidul piruvic, sub acțiunea enzimei carboxilaza, se desface în aldehidă acetică și CO_2 :



Acid piruvic — Aldehidă acetică

7. Se realizează reacția Canizzaro între aldehida fosfoglicerică și aldehida acetică, și prin adiționarea de apă sub acțiunea enzimei aldehidoreductază se formează acidul fosfogliceric (care trece apoi în aldehidă acetică) și alcool etilic (CH_3CH_3OH).

Cercetările de la sfîrșitul secolului al XIX-lea și începutul secolului al XX-lea, întreprinse de E. Godlevski, F. Blackman și alții, arată existența în interiorul organelor plantelor superioare (fructe coapte, rădăcini tuberizate, tuberculi etc.) a unei respirații anaerobe de tipul fermentației alcoolice, ca urmare a insuficienței oxigenului în țesuturile interne ale acestora. În mod normal, existența respirației anaerobe, alături de cea aerobă, a fost dovedită în interiorul țesuturilor fructelor cărnoase care se coc, prin valorile mari ale cîtului respirator, formarea alcoolului etilic și a altor produși ca aldehida acetică și acidul acetic. A fost dovedită prezența aldehidei acetice în țesuturile profunde ale merelor, piersicilor, prunelor, mandarinelor, lămîilor coapte etc., iar a acidului acetic în țesuturile profunde ale tuberculelor de cartof, a rădăcinilor de morcov etc.

Cercetările mai recente au arătat că și în organele care nu sînt cărnoase se manifestă, alături de respirația aerobă, și respirația anaerobă, chiar în cazul cînd accesul oxigenului este asigurat.

În organele plantelor superioare, cele două tipuri de respirație se găsesc în anumite raporturi care, de obicei, se exprimă prin raportul A/N. Iată cîteva valori ale acestui raport în tabelul 27.

Tabelul 27

Valoarea raportului A/N la cîteva organe vegetale

Organe vegetale	Raport A/N
Plantule de mazăre *(Pisum)*	0,83—1,20
Plantule de muștar (*Sinapis* sp.)	0,18—0,20
Rădăcini de morcov *(Daucus carota)*	0,58—1,10
Tubercule de cartof *(Solanum tuberosum)*	0,73—1,30
Boabe de struguri *(Vitis)*	0,74—1,30

Datele arătate ne dau certitudinea că în organele plantelor superioare există ambele tipuri de respirație — aerobă și anaerobă, că ele trebuie să se găsească într-o strînsă legătură, în interconexiune. În sprijinul acestei păreri vin experiențele care arată că raportul A/N nu variază cu variația temperaturii. Cele două tipuri de respirație sînt însă influențate de temperatură. Diferitele ioduri stimulează atît respirația aerobă, cît și cea anaerobă.

Actualmente este bine stabilit faptul că între respirația aerobă și cea anaerobă, existente în țesuturile organelor plantelor superioare, este o legătură genetică. Această legătură este indicată de faptul că enzimele care catalizează oxidarea zaharurilor în respirația anaerobă sînt larg răspîndite în plante, de existența diferiților produși ai respirației anaerobe (esterii fosforici ai hexozelor, ai aldehidelor glicerice, acidul fosfogliceric etc.). Legătura genetică dintre respirația aerobă și cea anaerobă a fost exprimată de S. P. Kostîcev prin schema de mai jos :

$C_6H_{12}O_6$ (glucoză)

↓

Produse intermediare ale oxidației

↙ ↘

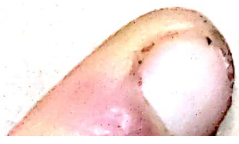
Respirația anaerobă $2CH_3CH_2OH + 2CO_2$ — Respirația aerobă $6CO_2 + 6H_2O$

În timpul dezvoltării istorice, aceste două procese au origine comună. Primul care a apărut și s-a dezvoltat a fost respirația anaerobă, și pe urmă a apărut și s-a dezvoltat respirația aerobă. Prin urmare, respirația anaerobă este faza pregătitoare a respirației aerobe.

Pe baza acestor cunoștințe acumulate, se admite că procesul respirației aerobe se desfășoară în două faze : 1) *faza anaerobă,* în care nu-i necesar oxigenul pentru oxidarea substratului ; 2) *faza aerobă,* în care oxigenul liber este absolut necesar.

E. MECANISMUL RESPIRAȚIEI

Înainte de a trece la mecanismul respirației, este necesar să arătăm ceva despre enzimele care catalizează transformarea oxidativă a substratului respirator.



Noi am arătat că enzimele care participă în procesul respirației sînt biocatalizatori cu acțiune specifică.

Dintre enzimele respirației menționăm :

— 1) *dehidrogenazele* (dehidrazele) piridinice [codehidraza I = difosfopiridinnucleotidă (DPN) și codehidraza II = trifosfopiridinnucleotidă (TPN)]. Acestea oxidează substratul prin dehidrogenare și, acceptînd hidrogenul eliberat, se reduc prin hidrogenare, adică fac o operație de oxido-reducere ; din această cauză, dehidrazele sînt numite și oxido-reductaze sau redoxaze ; în același timp sînt și hidrogen-transferaze ; dehidrogenarea substratului e un proces eliberator de energie, se pun în libertate 68 kcal/M ;

— 2) *flavinenzima* sau flavinproteina care operează dehidrogenarea dehidrazelor ; molecula ei conține vit. B_2 ; dehidrogenarea (oxidarea) codehidrazei pune în libertate 62 kcal/M, adică tocmai energia care a servit la reducerea ei, din cele 68 kcal eliberate prin oxidarea substratului ;

— 3) *hexochinaza,* care are ca coenzimă atomi de Mg, face transferul H_3PO_4 de la ATP pe molecula de glucoză care se fosforilează ;

— 4) *fosfoglucomutaza,* o transferază care transferă radicalul fosforil din poziția 1 în poziția 6 a glucozei ;

— 5) *fosfohexoizomeraza* transformă un izomer în altul (de exemplu transformarea glucozei în fructoză) ;

— 6) *aldolaza* face scindarea în două a moleculei de substrat ;

— 7) *fosforeraza* transferă radicalul fosforil de la o substanță la alta ;

— 8) *carboxilaza acidului piruvic* (în molecula ei cuprinde vit. B_1) ;

— 9) *dehidrogenazele acizilor izocitric, glutamic, succinic* și *malic* etc. ;

— 10) *citocromii a, b și c* și *citocromoxidaza* (fermentul roșu al lui Warburg) au ca coenzimă o hemină ce conține fier ;

— 11) *catalaza* care catalizează descompunerea apei oxigenate în H_2O și O_2, are ca grup prostetic o hemină care conține fier ;

— 12) *peroxidazele* care sînt de asemenea heminproteide, catalizează în prezența apei oxigenate și a altor peroxizi organici oxidarea aminelor aromatice și a fenolilor ;

— 13) *fenoloxidazele* sînt cuproproteide care oxidează fenolii (monofenolii și polifenolii), transformîndu-i în substanțe colorante (chinone).

Enzimele respirației transformă, în primul rînd, moleculele substratului în altele mai simple, și în al doilea rînd ușurează transferul de energie în energia legăturilor macroergice ale adenozindifosfatului (ADP) și adenozintrifosfatului (ATP), și în energia legăturilor mercaptidice ale acetilcoenzimei A (Co—A) și succinilcoenzimei A (T. Bucher-Lipman, 1953).

Oxidarea glucozei. Procesul oxidării glucozei se petrece în două faze, fiecare cuprinzînd mai multe etape : 1) *faza anaerobă,* în care nu participă oxigenul liber din afară ; 2) *faza aerobă,* în care participă oxigenul molecular pe care plantele îl absorb din mediu. Prezentăm mai jos mersul transformărilor în prima fază.

1) **Faza anaerobă.** Molecula de glucoză ($C_6H_{12}O_6$), sub forma ciclizată, este mai întîi fosforilată. Această fosforilare este realizată de hexochi-

nază, care transferă o moleculă de H_3PO_4 a acidului adenozintrifosforic (ATP) pe glucoză în poziția 6, sintetizîndu-se esterul 6-glucofosforic:

a) Glucoză $\xrightarrow[+ATP]{\text{hexochinază}}$ glucozo-6-fosfat + ADP

Legătura esterică 6-glucofosforică este o legătură microergică, pentru a cărei formare e folosit ultimul fosforil macroergic din ATP. Prin urmare, fosforilarea glucozei este un proces eliberator de energie, ce se realizează prin trecerea fosforilului de la un nivel energetic înalt în ATP la un nivel energetic scăzut în esterul 6-glucofosforic.

b) Glucozo-6-fosfatul $\xrightarrow[\text{izomerazei}]{\text{fosfohexo-}}$ fructozo-6-fosfat

c) Fructozo-6-fosfat $\xrightarrow[+ATP]{\text{fosfohexochinazei}}$ fructozo-6-difosfat + ADP

d) Fructozo-6-difosfat $\xrightarrow{\text{aldolază}}$ fosfodihidroacetonă + + aldehidă-3-fosfoglicerică

Toate transformările enumerate pînă aici se fac cu cheltuială de energie.

e) Adehida--3-fosfoglicerică $\xrightarrow{\text{dehidrogenaza aldehidei glicerice}}$ acid-3-fosfogliceric

În această oxidație de substrat, prin dehidrogenare se eliberează mai mult de 68 kcal/M, și prin urmare se realizează o fosforilare oxidativă prin oxidația de substrat și 3~P prin oxidația de transfer îndeplinită de codehidraza I (DPN).

f) Acidul 3-fosfogliceric $\xrightarrow{\text{fosfogliceromutaza}}$ acid 2-fosfogliceric

g) Acidul 2-fosfogliceric $\xrightarrow[-H_2O]{\text{enolaza}}$ acid fosfoenolpiruvic

h) Acidul fosfoenolpiruvic $\xrightarrow[+ADP]{\text{fosfotransferază}}$ acid piruvic + ATP

Oxidarea glucozei pînă la acid piruvic reprezintă prima fază a respirației aerobe. În respirația aerobă, acidul piruvic constituie o verigă foarte importantă. Cu acidul piruvic începe cea de-a doua fază a respirației aerobe.

2) **Faza aerobă.** În prima etapă, o moleculă a acidului piruvic este decarboxilată de către decarboxilaza acidului (enzimă ce are ca coferment cocarboxilaza ce conține o moleculă de vit. B_1 și o moleculă de H_3PO_4). Prin decarboxilare, acidul piruvic se transformă în acid acetic și CO_2:

$$\begin{array}{l} CH_3 \\ | \\ C{=}O \\ | \\ COOH \end{array} \xrightarrow{\text{decarboxilare}} CH_3{-}COOH + CO_2$$

Scanned with OKEN Scanner

Pentru ca această reacție să aibă loc, e nevoie de prezența codehidrazei I (DNP). S-a stabilit că decarboxilarea acidului piruvic este însoțită de formarea legăturilor macroergice. Pe măsură ce se formează acidul acetic, el se activează. Activarea moleculei acidului acetic, proces la care participă și ATP, are loc sub acțiunea coenzimei A (adenină + riboză + rest acid pantotenic + tioetanolamină + 3 molecule de acid fosforic). În urma procesului de activare se formează acetil-coenzima A (CH_3—S—A) care în legătura ei tioesterică conține multă energie. Prin hidroliza legăturii se eliberează 8 200 kcal. Decarboxilarea acidului acetic duce la formarea de legături macroergice. Energia acestor legături, în număr de patru, poate fi utilizată la numeroase sinteze. Pînă la formarea acetil~CoA, oxidarea glucozei se soldează cu + 14~P (legături macroergice).

Mai departe, altă moleculă a acidului piruvic este carboxilată, transformîndu-se în acid oxalacetic. Acidul oxalacetic, la rîndul său, este condensat cu o moleculă de acetil CoA, cu formarea unei molecule de acid citric sau citrat.

$$\text{Acetil}\sim\text{CoA} + \underset{(C_4)}{\text{oxalat}} \rightarrow \underset{(C_6)}{\text{citrat}} + \text{CoA}$$

Cea de a doua etapă se rezumă în întregime la ciclul citric (ciclul lui K r e b s), o prodigioasă moară de măcinat moleculele pentru a extrage CO_2. Acidul citric, prin două decarboxilării oxidative (catalizate de decarboxilază) și două dehidrogenări (catalizate de dehidrogenaze) și o hidratare, regenerează acidul oxalacetic și reprezintă în același timp oxidarea acidului acetic pînă la CO_2 și H_2O. Ciclul citric poate fi reprezentat prin schema din figura 95.

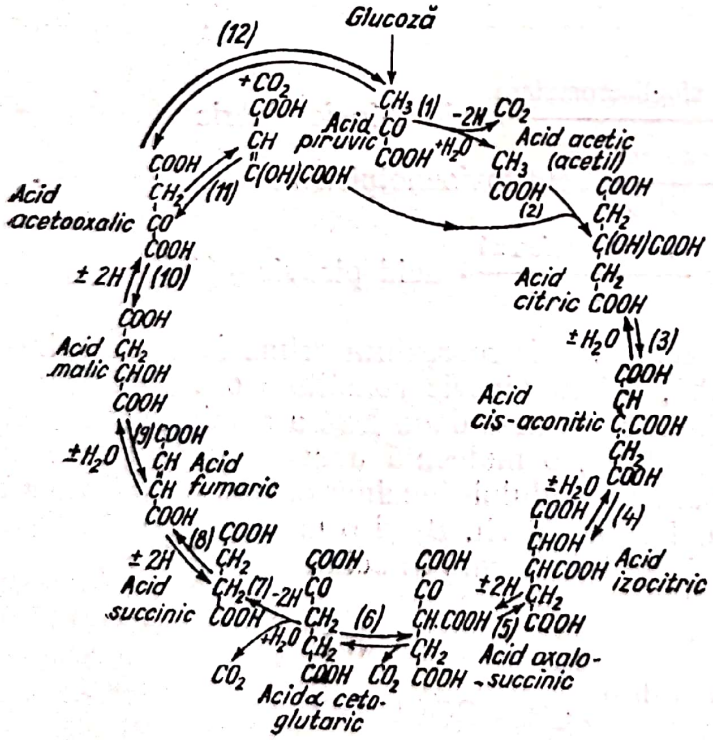


Fig. 95. Ciclul acizilor tricarbonici (după V. L. K r e t o v i c i)

Ciclul este repetat prin adiționarea altor molecule din piruvat. S-a putut stabili că în timpul desfacerii hidrogenului și CO_2, aceste reacții reclamă luarea (captarea) de fosfat anorganic și formarea fosfatului organic intermediar, care se transformă în energia legăturilor macroergice ale ATP. Transferul energiei în ciclul citric poate avea loc în cîteva etape. În oxidația de transfer, pentru fiecare moleculă de apă formată se generează 3 legături macroergice fosfatice, și în mod corespunzător 3 molecule de ADP sînt trans-

formate în ATP. Transferarea energiei oxidației biologice în energia legăturilor macroergice poartă numele de *fosforilare oxidativă.*

Din oxidarea completă a unei molecule de glucoză se elimină 680 kcal. Măsurătorile actuale arată că din această cantitate de energie, circa 290 kcal sînt depozitate în forma energiei legate în fosfat. Încărcarea acumulatorului fosfatic de energie înseamnă cuplarea unei serii de reacții (3—4 trepte) eliberatoare de energie cu tot atîtea reacții consumatoare de energie : fixarea H_3PO_4 sub formă de fosforil macroergic în ATP. Acidul fosforic, sub forma de fosforil macroergic, poate fi folosit în sinteza altor compuși organominerali prin transfer de pe ATP sau de pe alt compus macroergic. Așa se formează nucleotidele purinice și pirimidinice, care, la rîndul lor, prin polimerizare, formează acizii nucleici : acidul ribonucleic (ARN) și dezoxiribonucleic (ADN). În mod similar, acidul fosforic e utilizat la sinteza nucleotidelor, a coenzimelor : codehidraza I (DPN) și codehidraza II (TPN), coenzima A și coenzimele flavinice. Acidul fosforic sub formă de fosforil macroergic este utilizat la „activarea" glucozei : formarea esterilor glucofosforici. De asemenea mai este utilizat pentru „activarea" acizilor grași etc.

Dacă examinăm tot drumul descompunerii glucozei în procesul respirației aerobe — în faza anaerobă și cea aerobă — se poate constata că oxidarea unuia din compușii care s-au format în prima și cea de-a doua fază începe cu dehidrogenarea sub acțiunea dehidrazei corespunzătoare. Ideea dehidrogenării, ca primă etapă a oxidării substanței organice în procesul respirației, aparține lui V. I. P a l a d i n. Hidrogenul scos din substrat și preluat de dehidraza piridinică este acceptat de dehidraza flavinică, se oxidează apoi cu ajutorul sistemului citocromic sau fenoloxidazic (care cuprinde și peroxidaza), enzime care sînt numite *„finale"*.

Rol de enzimă „finală" sau „terminală" îl poate avea și enzima flavinică însăși, care transmite hidrogenul direct oxigenului atmosferic, formînd apa oxigenată (H_2O_2), care se descompune sub acțiunea catalazei (feroporfirina) sau este folosită pentru oxidarea unor compuși organici oarecare, sub acțiunea peroxidazei (feroporfirina).

Schematic, dehidrogenarea și oxidarea hidrogenului de către oxigenul liber din aer în procesul respirației este reprezentată de V. L. K r e t o v i c i în figura 96.

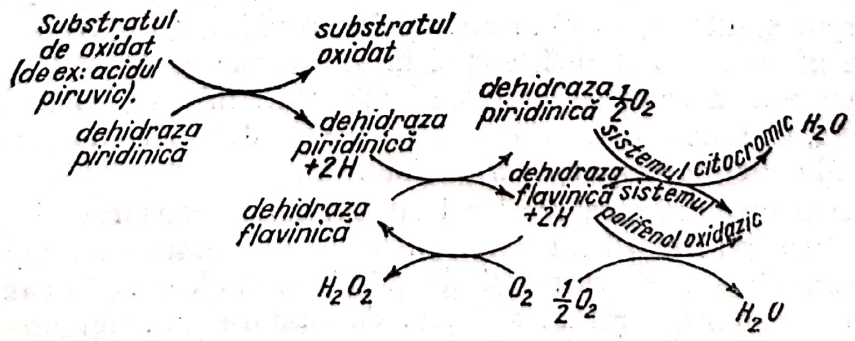


Fig. 96. Schema dehidrogenării și oxidării hidrogenului de către oxigenul din aer ((după V. L. K r e t o v i c i)

La unele plante, rolul de enzime „finale" îl joacă ascorbinoxidaza, care, catalizînd oxidarea acidului ascorbic (forma redusă), se transformă în acid dehidroascorbic (forma oxidată), proces strîns legat de transformările enzimatice ale glutationului oxidat și redus. La rîndul său, acest sistem se include, prin intermediul dehidrazelor piridinice, în ciclul lui K r e b s și participă la oxidarea unor compuși ai acestui ciclu.

La diferitele specii de plante, natura sistemului oxidazic „terminal" este diferită. Astfel, în tuberculele de cartof, rolul oxidazei „terminale" îl are mai ales polifenoloxidaza, la semințele de orz acest rol îl are sistemul citocromic.

În faza aerobă a respirației nu toate moleculele de piruvat care rezultă din glicoliză sînt decarboxilate și oxidate pînă la CO_2 și H_2O. Cîteva din moleculele piruvatului au următoarea soartă: 1) participă la formarea legăturilor fosfatice bogate în energie; 2) servesc ca precursor al acetilcoenzimei A ($CH_3Co—S-A$), enzimă ce joacă un mare rol în sinteza acizilor grași, una din componentele lipidelor, sterolilor și lipoidelor; 3) iau parte la sinteza alaninei (aminoacid), o componentă a proteinelor; 4) participă la formarea acidului oxal-acetic din care ia naștere acidul asparagic (aminoacid), o altă componentă a substanțelor proteice. În felul acesta se creează o interdependență și totodată o legătură strînsă între metabolismul glucidic și metabolismul proteic și lipidic.

F. ENERGIA PRODUSĂ ÎN RESPIRAȚIE ȘI TRANSFORMĂRILE EI

Respirația asigură producerea continuă de energie chimică necesară celulei, generînd compuși macroergici fosfatici, cu randament de circa 65%. Aceasta înseamnă că o parte din energia moleculelor organice oxidate nu se transformă în energie chimică în esență electrică, ci în alte forme de energie chimică, și numai în formă prelucrată se elimină ca energie calorică. În diferitele biosinteze are importanță numai energia sub formă chimică. Din acest punct de vedere se poate spune că în procesul fosforilării oxidative, circa 35% din energia moleculelor organice se pierde.

În corpul plantelor, ca și al animalelor, o parte din energia chimică se transformă în energie calorică, dar și în alte forme de energie ca: energie electrică, energie mecanică, luminoasă etc. Prin urmare, plantele nu creează energie, ci numai o transformă. La plante deci, își găsește aplicabilitate cel de-al doilea principiu al termodinamicii.

Problema modului cum are loc transformarea unei forme de energie în alte forme încă nu-i clarificată pînă în prezent în toate amănuntele. Suma totală a energiei se măsoară totuși, de obicei, după efectul său caloric. După legile termodinamicii, cantitatea totală de căldură dintr-un proces chimic exotermic oarecare rămîne neschimbată. De aceea, efectul energetic total al oxidării fiziologice a substanțelor (glucide, lipide etc.) în procesul respira-

Scanned with OKEN Scanner

ției poate fi considerat egal cu efectul caloric care se obține din arderea acestor substanțe în calorimetru.

a) *Energia calorică,* în cea mai mare parte provenită din transformarea energiei chimice, este utilizată în mică parte în procesele de reducere a azotaților, sulfaților etc. Cea mai mare parte este utilizată în transpirația plantelor. O altă parte se pierde prin iradiere în mediul ambiant.

Practic, cantitatea de energie calorică iradiată de plante se poate măsura cu ajutorul termometrelor care se introduc cu rezervorul între materialul vegetal de respirat, introdus într-un vas oarecare. Măsurarea exactă a temperaturii produsă în respirație se face dacă introducem materialul vegetal într-un termos, sau în vase Dewar cu pereți dubli (fig. 97). Se poate măsura temperatura produsă de organele vegetale și prin metoda termoelectrică.

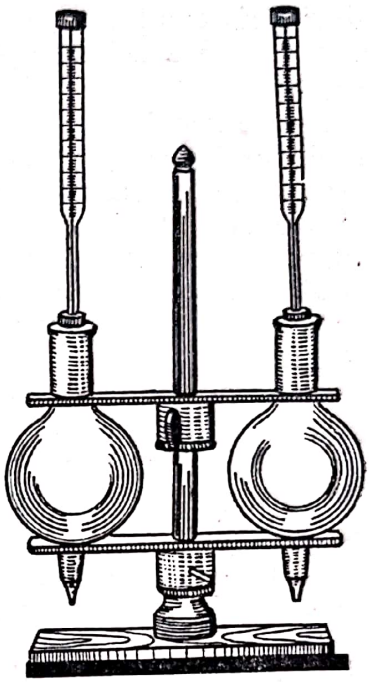


Fig. 97. Vasul Dewar pentru măsurarea căldurii produse de respirația materialelor vegetale

Cu ajutorul acestor două metode s-a putut dovedi că plantele emit multă căldură; de exemplu, în timpul germinației semințelor temperatura se ridică în jurul lor cu 7—20 °C, iar în timpul deschiderii florilor, cu 16—19 °C. Multă căldură degajă fructele și legumele în timpul păstrării. În 24 de ore, merele și perele degajă 247—401 kcal pentru o tonă de fructe.

Energia calorică pe care o degajă plantele are, în unele cazuri, importanță pentru viața lor. Datorită căldurii emise, plantele de toamnă, care trăiesc iarna sub zăpadă, își creează în jurul lor (zăpada fiind rea conducătoare de căldură) un mediu favorabil vieții lor. Tot datorită căldurii degajate, primăvara, zăpada de pe plante se topește mai ușor și ele ies la lumină.

b) *Energia electrică.* Se produce în plante din transformarea energiei chimice. Ea manifestîndu-se sub forma unui curent continuu, joacă rol important în absorbția substanțelor și în transportul lor de la o celulă la alta. Electricitatea din corpul plantelor se pune ușor în evidență cu ajutorul galvanometrelor și a capilar-electrometrelor. La un fruct, dacă punem pe epiderma intactă un electrod impolarizabil ce e în legătură cu un galvanometru, și pe suprafața secționată altul (fig. 98), constatăm, după felul

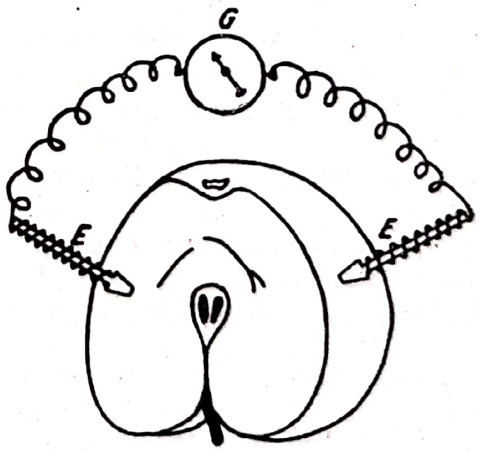


Fig. 98. Măsurarea diferenței de potențial electric la un măr secționat: *E* — electrozi; *G* — galvanometru (după Beznak-Hortobagyi)

deviației acului, că epiderma are electricitate pozitivă, și parenchimul electricitate negativă. Unele plante (mușcata, vița de vie etc.) emit chiar radiații electrice.

c) *Energia mecanică*, provenită în bună parte din transformarea energiei chimice (o parte provenită și din transformarea energiei de îmbibație), e de mare importanță pentru plante. Datorită ei, celulele vegetale pot crește și efectua un lucru mecanic. Cu ajutorul ei, rădăcinile, crescînd, pot pătrunde în sol, să dea la o parte particulele de sol, să ridice și să crape pietre și blocuri de stînci și pot susține masele mari și grele ale organelor aeriene. Energia mecanică are un rol important și în urcarea sevei brute în tulpina plantelor.

d) *Energia luminoasă* e produsă de unele plante (alge, ciuperci, bacterii și unele muscinee) ca rezultat al transformării energiei chimice, proces care necesită oxigen. Lumina pe care o emit plantele e rece, are culoare albastră-verzuie și e compusă din radiații cu $\lambda = 250—610$ milimicroni. Lumina produsă pare să aibă însemnătate în procesul de dezvoltare.

Plantele mai emit și radiații invizibile: ultraviolete și infraroșii. Rădăcinile de ceapă emit radiații ultraviolete cu $\lambda = 190—250$ milimicroni. Aceste radiații, fiindcă provoacă diviziunile celulare, au fost numite de Gurvici, care le-a descoperit, „radiații mitogenetice". Morcovii, fasolea încolțită, frunzele de tei etc. emit radiații infraroșii.

G. APLICAȚIILE CERCETĂRILOR ASUPRA RESPIRAȚIEI ÎN PROBLEMELE DE AGRICULTURĂ

Cercetările asupra respirației ne permit recomandarea de metode prin care diferitele produse vegetale pot fi transportate și depozitate cu un minimum de pierderi. Fructele, rădăcinoasele, tuberculele păstrează calitatea numai dacă se țin la temperaturi scăzute pozitive (cîteva grade deasupra lui zero). Scăderea calității produselor vegetale păstrate la temperaturi ridicate este determinată tocmai de intensitatea sporită a respirației. Cea mai bună metodă pentru micșorarea scăderii calității este răcirea. Este de asemenea mult micșorată și prin menținerea la concentrații ridicate de CO_2 și scăzute de O_2. Semințele cu conținut ridicat în apă; la temperaturi ridicate își pot pierde puterea de germinație. La deteriorarea lor contribuie deci și umiditatea din ele. La aceasta se mai adaugă și căldura provenită din respirație, care determină autoîncălzirea semințelor, precum și căldura provenită din respirația microorganismelor care găsesc condiții optime de dezvoltare. Prin îndepărtarea umidității, intensitatea respirației este redusă la minim. Menținerea puterii de germinație și prevenirea scăderii calității la semințele depozitate se poate realiza numai dacă semințele se depozitează uscate. În cazul cînd ele nu se usucă în condiții naturale, e necesară uscarea pe cale artificială. În tabelul 28 este trecută cantitatea de umiditate a cîtorva semințe, care permite depozitarea fără să fie pericol de a se deteriora.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 28

Umiditatea cîtorva semințe ale plantelor de cultură
(după F. F. James, Ph. D. Henry, P. H. D. Ward, 1959)

Semințe	Umiditatea, în %	Semințe	Umiditatea, în %
Semințe de:			
Fasole	12,0	Ovăz	11,8
Hrișcă	12,5	Orez	12,5
Lupin albastru	11,00	Sorg	11,9
Porumb	12,0	Grîu	12,0
Trifoi	10,0	Secară	12,2
In	7,9	Soia	9,3

Din tabel se poate constata, în ce privește umiditatea, o considerabilă variație. La semințele multor plante bogate în coloizi hidrofili (amidon, proteine) umiditatea care permite depozitarea este mai ridicată decît la cele sărace în coloizi hidrofili (semințele oleaginoase).

În discuțiile făcute cu privire la influența temperaturii ridicate am arătat interrelația care se creează între intensitatea fotosintezei și respirației la culturile de cîmp. Intensitatea luminii, la care fotosinteza este egală cu respirația, este numită *„punct de compensație"*. Dacă crește intensitatea luminii, crește și intensitatea fotosintezei, și în același timp crește și respirația, dar nu în măsura în care crește fotosinteza, căci nu este aproape de loc influențată de lumină. În aceste condiții, punctul de compensație se schimbă, însă, cum intensitatea fotosintezei depășește cu mult intensitatea respirației, rămîne suficient zahăr pentru respirația frunzelor noaptea și pentru transportul spre organele de depozitare. Adesea vara, căldura nopților cauzează o respirație ridicată a frunzelor, și din această cauză ele rămîn cu puțin zahăr care să fie transportat pentru creșterea tuberculilor de cartof. Din această cauză se formează puțini tuberculi. Pe de altă parte, nopțile reci favorizează formarea în număr mare a tuberculilor. În fiecare regiune, temperaturile de noapte sînt foarte importante în dezvoltarea organelor de rezervă.

În legătură cu tuberculii de cartof, trebuie de asemenea știut că ei trebuie păstrați la temperaturi cuprinse între 4—7 °C. La temperaturi mai joase, amidonul din tubercule descompunîndu-se hidrolitic, în țesuturi se acumulează zahăr (intensitatea respirației fiind slabă) și se îndulcesc. Se poate remedia această depreciere a calității tuberculilor păstrîndu-i la o temperatură de aproximativ 15 °C. În aceste condiții se produce fenomenul invers al transformării zahărului în amidon.

Tot în legătură cu păstrarea produselor vegetale trebuie avut în vedere ca acestea să nu aibă răni proaspete. În locurile de rană se ridică temperatura, și ca urmare și intensitatea respirației. Din respirație se produce multă căldură. În aceste condiții se dezvoltă diferite microorganisme care, prin enzimele ce le secretă, produc alterarea rapidă a produselor.

Scanned with OKEN Scanner

BIBLIOGRAFIE

1. Popper, J. și Galston, A. W., *Principles of Plant Physiology*, San-Francisco, 1952.
2. Bonnier, G. și Leclerc de Sablon, *Cours de Botanique*, Paris, 1930.
3. Cotăescu, I., *Materia vie*, București, Ed. științifică, 1962.
4. Deleanu, T. N., *Studiu chimic asupra respirației frunzelor de viță de vie*, București, 1913.
5. Deleanu, T. N., *Respirația periodică a frunzelor*, în „Rev. științifică V. Adamachi", Iași, 1915, vol. 5, nr. 1.
6. Ferry, F. J., Henry, D. Ph. și Ward, Ph. D., *Fundamentals of Plant Physiology*, New-York, The Mac Millan Company, 1959.
7. James, O. V., *Plant Respiration M.A.F.R.S.* Reader in Botany, Oxford, 1953 (trad. în l. franceză, Paris, 1952).
8. Kostîcev, P. S., *Fiziologhia rastenii*, Moscova, Selhozghiz, 1933, t. II.
9. Kretovici, L. V., *Osnovî biohimii rastenii*, Moscova, 1952.
10. Maksimov, M. A., *Fiziologia plantelor*, București, Ed. de Stat, 1951 (traducere din limba rusă).
11. Paladin, N., *Manual elementar de chimie biologică*, București, 1949.
12. Pop, Emil, Peterfi, Șt., Sălăgeanu, N. și Chirilei, H., *Manual de fiziologia plantelor*, București, E.S.D.P., vol. I, 1957.
13. Rubin, A. B., *Fiziologhia rastenii*, Moscova, 1954.
14. Sălăgeanu, N. și Boldur, O., *Despre schimbul respirator în decursul stimulării cu etilen a coacerii caiselor și piersicilor*, în Analele Universității, Seria șt. naturale, București, 1956, nr. 11.
15. Sabinin, D. A., *Fiziologhiceskie osnovî pitaniia rastenii*, Moscova, 1955.
16. Sisakian, M. N., *Biochimia metabolismului*, București, Ed. Acad. R.P.R., 1957, (traducere din l. rusă).
17. Stiles, W. și William, Leach, *Respiration in Plants*, London, Methuen and Co., 1952.

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul VI

TRANSFORMAREA ȘI CIRCULAȚIA SUBSTANȚELOR ORGANICE ÎN CORPUL PLANTELOR

A. TRANSFORMAREA SUBSTANȚELOR ORGANICE

1. Noțiuni generale despre metabolism

Viața organismelor, atît animale, cît și vegetale, a fost definită de către F. Engels ca „forma de existență a substanțelor proteice, caracterizată printr-un schimb de substanțe între organism și mediu". Din conținutul capitolelor anterioare s-a văzut una dintre caracteristicile generale ale vieții, și anume schimbul de substanțe între plantă și mediu. Absorbția apei, a substanțelor minerale, printre care și a carbonului sub formă minerală, a oxigenului din mediul înconjurător, se desfășoară paralel cu pierderea apei, eliminarea de bioxid de carbon și a altor substanțe, constituind prima trăsătură caracteristică vieții, manifestată pe plan extern. A doua caracteristică a vieții o constituie totalitatea proceselor pe a căror bază organismul se autoreînnoiește. Deși mai puțin evidentă, deoarece se desfășoară pe plan intern, această trăsătură prezintă o importanță primordială. Numeroasele corpuri lipsite de viață manifestă schimbul de substanțe cu mediul exterior: fierul se oxidează prin unirea cu oxigenul atmosferic, substanțele higroscopice absorb moleculele de apă din atmosferă etc. În urma acestor schimburi însă, aceste corpuri se transformă în altele, complet diferite de primele. Spre deosebire de acestea, organismul viu, prin acest schimb cu mediul își menține caracteristicile sale, adică individualitatea sa.

Protoplasma este formată din substanțe proteice care, în tot cursul vieții, trec printr-o serie de transformări de înnoire. Metoda izotopilor a pus în evidență procesul continuu de includere a moleculelor noi de acizi aminici în locul acizilor aminici scindați din macromoleculele proteice constitutive, chiar la celulele care și-au terminat creșterea. Toate procesele de transformare ale substanțelor din corpul plantei sînt reprezentate prin reacții ce se pot împărți în două grupe mari. Pe de o parte, acestea sînt reacțiile de sinteză, de formare a moleculelor noi, iar pe de altă parte, sînt transformările de hidroliză, de scindare, de desfacere a moleculelor mari în altele mai mici. Transformările de sinteză sînt bazate pe reacții care au

nevoie de energie liberă ; transformările de desfacere a moleculelor, din contră, pun în libertate energie. Grupa a doua de transformări, potrivit caracteristicii sale, constituie sursa de energie pentru transformările din prima grupă. Deoarece primele transformări se soldează cu formarea de substanțe noi, mai complexe, ce conțin energia înmagazinată sub forma potențială, totalitatea lor a căpătat numele de asimilație sau anabolism. Așa sînt transformările din cadrul procesului de fotosinteză, cînd se asimilează bioxidul de carbon sub forma unor molecule din ce în ce mai complexe, asimilarea azotului ce duce la formarea de compuși ca : amide, acizi aminici, molecule de proteine etc. Grupa a doua de transformări, fiind complet opusă primei, duce la formarea de molecule mai simple și la punerea în libertate a energiei, fapt, care îi determină denumirea de dezasimilație sau catabolism.

Asimilația sau *anabolismul,* desfășurîndu-se în mod paralel cu *dezasimilația* sau *catabolismul,* constituie complexul de transformări denumit metabolism. Metabolismul include deci pe de o parte, transformările caracteristice schimbului de substanțe între organism și mediu, iar pe de altă parte, transformările caracteristice autoreînnoirii organismului.

Reacțiile ce au loc în cadrul acestor transformări sînt cele obișnuite în chimie. Unele din ele pot avea loc și în afara celulei vii, altele însă se caracterizează printr-o accelerare extrem de mare la nivelul celulei vii. Trăsătura fundamentală tuturor acestor reacții este coordonarea lor, așa încît formează un complex caracteristic numai organismelor vii. Această coordonare constă într-o anumită succesiune a reacțiilor, așa încît reacțiile de un fel sînt urmate de reacțiile de alt fel într-o ordine bine constituită.

Accelerarea reacțiilor, care ajunge să fie de 1 000 de ori mai mare ca in vitro, decurge în celula vie sub acțiunea unor catalizatori specifici, denumiți biocatalizatori.

2. Caracteristicile principale ale activității fermenților în celulele vii

Fermenții sau enzimele ce se găsesc în corpul plantelor, din punct de vedere al constituției fac parte din grupa enzimelor mono- și bicomponente. Cele monocomponente sînt formate numai din partea proteică. Așa sînt, de exemplu, fermenții ce acționează asupra proteinelor pe care le descompun în acizi aminici, amilaza ce hidrolizează amidonul etc.

Fermenții bicomponenți sînt formați din două părți : o parte este proteică, purtînd numele de feron, și o parte prostetică, denumită agon. Partea prostetică poate fi separată ușor de partea proteică, care, în acest caz, devine inactivă. Gruparea prostetică se mai numește și coferment. La unii fermenți, această grupare este reprezentată printr-un atom de metal. Astfel este tirozinaza ce are ca grupare prostetică un atom de cupru ; la fel este și ascorbinoxidaza. Deosebirea între acești fermenți o constituie gruparea proteică a fermentului. Alți fermenți pot avea drept grupare prostetică metalele ca : zinc, mangan, magneziu etc. Rolul fiziologic al unor metale, necesare sub formă de microelemente, constă în participarea lor la formarea grupei prostetice a fermenților.

Scanned with OKEN Scanner

La alți fermenți bicomponenți, gruparea prostetică este mai complexă. Astfel, la plantele superioare, fermenții conțin drept grupare prostetică vitaminele ca tiamina (vit. B_1), riboflavina (vit. B_2), acidul pantotenic, biotina și adenina. Ca exemplu al unor astfel de fermenți sînt dehidrazele, care conțin drept grupare prostetică resturi ale acidului nicotinic, ale ribozei, ale acidului fosforic și adenilic. Complexul rezultat poartă numele de fosfopiridinnucleotid. Specificitatea fermenților ce conțin drept grupare prostetică fosfopiridinnucleotid depinde de natura suportului proteic.

Mecanismul de acționare a fermenților se manifestă pe căi diferite. La o serie de fermenți, modul de acționare se bazează pe adsorbția moleculelor substratului ce suferă transformare. În lipsa fermentului, moleculele substanțelor ce intră în reacție trebuie să se ciocnească în mod reciproc. Cu cît aceste ciocniri sînt mai dese, cu atît reacția decurge mai repede. În urma adsorbției pe suprafața fermentului, concentrația moleculelor crește, de unde rezultă și creșterea vitezei de reacție dintre aceste molecule. În cazul acestui mod de acționare, apare clară influența favorabilă ce o are temperatura și creșterea concentrației soluției de substanțe ce intră în reacție.

Actualmente s-a constatat că la o serie de fermenți, mecanismul de acționare depinde nu atît de numărul total de molecule, cît de numărul de molecule ce se găsesc în stare activă. Fermentul, formînd o serie de compuși intermediari cu moleculele substratului, determină slăbirea legăturilor din interiorul acestor molecule. Acest fel de molecule devin capabile de reacție, deși nu au trecut prin activarea pe bază de ciocniri cu moleculele vecine. Rezultă deci că fermentul determină scăderea energiei de activare, necesară moleculelor ce intră în reacție.

Fermenții din celule vii posedă o serie de proprietăți, dintre care cele mai importante sînt specificitatea și reversibilitatea acțiunii lor.

Prin specificitate se înțelege proprietatea fermentului de a acționa asupra unei anumite substanțe. În legătură cu această proprietate s-a atribuit și denumirea fermentului. Aceasta este reprezentată prin rădăcina cuvîntului ce desemnează substratul, la care se adaugă sufixul aza. Așa avem amilaza, ce acționează asupra amidonului, maltaza asupra maltozei etc. Specificitatea multor fermenți se referă mai ales la felul legăturii chimice a unui compus. Astfel, fermentul lipaza poate cataliza desfacerea legăturii esterului indiferent de natura acidului organic ce intră în compoziția grăsimilor.

Datorită proprietății de specificitate a fermenților, în corpul plantelor se găsesc un număr foarte mare de fermenți. Complexul de fermenți ai unei plante îi imprimă o serie de particularități ale dezvoltării și ale zestrei ereditare. Modificarea acestui complex atrage după sine modificarea însușirilor ereditare ale plantelor.

O altă proprietate a fermenților este reversibilitatea acțiunii lor. Ca și în cazul catalizatorilor anorganici, fermenții accelerează mersul reacției atît într-un sens, cît și în sensul contrar. A. I. Danilevski (1886) a arătat pentru prima dată reversibilitatea activității fermenților proteolitici. Bergmann, cu ajutorul fermenților proteolitici ca papaina și ficina, a obținut sinteza unui șir de polipeptide. Totuși, în majoritatea cazurilor,

Scanned with OKEN Scanner

fermenții hidrolitici nu pot determina sinteza, deoarece ruperea legăturilor dintre molecule duce la pierderea energiei necesare pentru sinteză. Aceste molecule pot intra în reacțiile de sinteză numai după combinarea lor cu moleculele acidului fosforic. Acest fel de combinare mărește energia lor, dar produșii ce rezultă pot fi catalizați numai de către alți fermenți, cum sînt fosforilazele.

În celulele vii, fermenții se găsesc concentrați în anumite părți ale celulei. Astfel, cantitatea cea mai mare de fermenți se află la nivelul mitocondriilor și a condriozomilor din celulă. Fermenții se mai găsesc și în celelalte părți ale celulei ca citoplasmă, plaste etc.

În baza cercetărilor făcute s-a ajuns la concluzia că într-o celulă vie, fermenții se pot găsi în două stări: de adsorbție și de eluțiune sau stare liberă. În cazul cînd fermenții se găsesc în stare de adsorbție, ei determină activitatea de sinteză. Din contră, atunci cînd fermenții sînt în stare de eluțiune, adică în stare liberă, ei desfășoară o activitate de hidroliză.

Într-o celulă vie, deși se găsește un complex de fermenți alături de substratul ce poate fi transformat de către acești fermenți, totuși substratul nu suferă modificări decît în măsura în care necesită acest lucru totalitatea proceselor vitale din organism. Aceasta se datorește faptului că structura complexă a protoplasmei permite izolarea în spațiu a fermenților și a substratului. Într-o celulă moartă, structura submicroscopică se distruge. Fermenții vin în contact cu diferitele substanțe de care erau izolați într-o celulă vie. Începe procesul intens de hidroliză, deoarece fermenții nu mai sînt adsorbiți de către structurile celulare. Ca urmare, fermenții celulelor moarte desfășoară o activitate în sens hidrolitic.

3. Variațiile activității fermenților la plante

Semințele în stare de repaus conțin fermenți în stare inactivă. După unii, fermenții se găsesc în semințe într-o cantitate mică. Pe măsură ce semințele germinează, fermenții sînt formați în cantitate din ce în ce mai mare. Sursa fermenților din sămînță o constituie anumite părți ale ei. La bobul de grîu, sursa o constituie scutelum și stratul cu aleurona.

După cercetările mai recente, fermenții din sămînță au origină în frunzele plantei de la care au provenit. În timpul maturizării semințelor, în țesuturile acestora, paralel cu substanțele de rezervă, se acumulează și fermenți. Aceștia se formează în frunze, de unde migrează în semințe. La nivelul acestora, fermenții devin inactivi în tot cursul duratei de repaus. O dată cu procesul de germinație, fermenții trec în stare activă.

În corpul plantelor, fermenții manifestă în mod simultan activitatea hidrolitică și activitatea sintetică. Totuși, dintre aceste activități predomină cînd una, cînd alta.

În timpul procesului de creștere, substanțele asimilate de către frunze sufăr mereu hidrolize, în urma cărora ele au posibilitatea să circule și să participe la formarea compușilor din protoplasma celulelor noi. În timpul depozitării substanțelor de rezervă predomină în organe activitatea de sinteză. Așa este cazul rădăcinilor de morcov, de sfeclă etc.

Scanned with OKEN Scanner

Prin metoda infiltraţiei s-a stabilit că soiurile precoce de fructe se caracterizează prin predominarea proceselor de hidroliză asupra celor de sinteză. Soiurile de fructe tardive, din contră, se caracterizează prin predominarea proceselor de sinteză.

Tot în legătură cu activitatea fermenţilor la nivelul celulelor vii, s-a putut explica şi intimitatea proceselor de fermentaţie a frunzelor de tutun, de ceai etc. În condiţii de hidratare normală, fermenţii din celule sînt adsorbiţi pe structurile celulare. În momentul în care apa începe să scadă, fermenţii trec din starea adsorbită în stare de eluţiune. În cazul frunzelor de tutun sau ceai se urmăreşte ca în timpul fermentaţiei să scadă cantitatea de amidon. Fiind puse la fermentat, cantitatea de apă scade, iar fermenţii, trecînd în stare de eluţiune, hidrolizează substanţele, printre care şi amidonul.

Trecerea fermenţilor la o activitate hidrolitică tocmai în momentul cînd apa din frunză scade pare a fi un fapt paradoxal la prima vedere. Hidroliza necesită participarea apei la desfacerea moleculelor, deci tocmai acum cînd apa scade cantitativ. Din punct de vedere biologic, acest fapt este foarte explicabil. Trecînd la activitatea hidrolitică, fermenţii determină formarea de apă legată, adică apă reţinută de către celule datorită creşterii concentraţiei sucului celular. Acest lucru favorizează rezistenţa plantelor la secetă. Plantele îşi menţin ostiolele deschise în cursul zilei, aşa încît procesul de fotosinteză poate să continuie în mod normal.

4. Principalele substanţe sintetizate în corpul plantelor

Procesele fiziologice, examinate în capitolele anterioare, au arătat calea şi mecanismul de pătrundere a substanţelor minerale în corpul plantei. O dată intrate, ele suferă transformări foarte complexe, în urma cărora apar diferite substanţe organice. Aceste substanţe, potrivit naturii lor chimice, joacă un rol multiplu pentru viaţa plantei. O parte din ele participă la formarea pereţilor celulei, cum este membrana scheletică, a protoplasmei etc. Acestea sînt substanţele constitutive sau plastice. O altă parte din substanţele sintetizate sînt utilizate pentru procurare de energie necesară activităţii vitale. Acestea sînt substanţele energetice, utilizate în cursul respiraţiei. În sfîrşit, o bună parte din substanţe sînt folosite pentru depozitare în organele de rezervă.

În urma acestor transformări, rezultă şi o serie de substanţe cu un rol secundar, deseori cunoscut numai în parte, cum sînt, de exemplu : cauciucul, alcaloizii, terpenele, substanţele ceroase etc.

Substanţele ce rezultă în urma acestor sinteze, atît cele cu rol principal, cît şi cele ce au un rol secundar, formează obiectul de studiu al biochimiei. În cadrul acestui capitol se vor menţiona pe scurt grupele mai importante ale acestor substanţe, dîndu-se o importanţă mai mare acelora ce nu au fost cuprinse în cadrul capitolelor anterioare.

a) *Glucidele* sînt reprezentate în corpul plantei prin hexoze ca : monoze, bioze, trioze şi polioze. Glucidele formează 85—90% din totalul substanţei

Scanned with OKEN Scanner

uscate din corpul plantei. Ele participă la sinteza altor substanțe, sînt consumate în cursul respirației, iar o bună parte sînt utilizate pentru formarea membranei celulare.

Glucoza, fructoza, mannoza și *galactoza* se găsesc în corpul fiecărei plante în stare liberă sau sub forma combinată. Monozaharidele pot forma esteri cu acidul fosforic. În starea aceasta fosforilată, ele joacă un rol foarte important în procesele de transformare a zaharurilor.

Dintre dizaharide, rolul cel mai important îi revine *zaharozei*. Aceasta rezultă în corpul plantei ca unul dintre primii produși ai fotosintezei. Zaharoza poate rezulta și în urma procesului de reunire a glucozei cu fructoza, sub acțiunea fermenților din celule. Se admite că fermenții care catalizează această sinteză fac parte din grupa fosforilazelor. La sfecla de zahăr, crescută în lipsa fosforului, sinteza zaharozei este înhibată.

Dintre pentoze, în corpul plantelor se găsesc d-xiloza, l-arabinoza, d-riboza și 2-dezoxi-riboza. Pentozele se găsesc mai mult sub formă polimerizată, alcătuind molecule mari. În membrana celulei se găsește d-xiloza și l-arabinoza, formînd xilane și arabane. Ribozele intră în compoziția acizilor nucleici.

Glucoza se combină în corpul plantelor cu diferite substanțe ca alcooli, fenoli, aldehide, acizi etc., formînd substanțele ce poartă numele de glucoizi. Rolul acestora este de a trece substanțele toxice rezultate în urma metabolismului într-o formă inofensivă. Glucozizii sînt utilizați în mod treptat. În cursul utilizării, glucoza este consumată, iar gruparea agluconică este descompusă, devenind astfel lipsită de toxicitate. În felul acesta, glucozizii pot fi considerați ca substanțe de rezervă. Partea agluconică fiind toxică, servește și ca un mijloc de a proteja plantele împotriva atacului din partea animalelor.

Din grupa glucozizilor fac parte pigmenții foarte răspîndiți la plante, purtînd numele de *antociane* în cazul cînd sînt colorați în roșu, violet sau albastru și *flavoane*, în cazul cînd sînt colorați în galben. *Pigmenții antocianici* au fost studiați în țara noastră de către Stan Ionescu și H. Chirilei (1947, 1949), care au lămurit atît originea, cît și rolul lor biologic. Cercetări cu privire la pigmenții flavonici a făcut H. Chirilei, care i-a izolat din multe plante în stare cristalizată.

Dintre polizaharide, cel mai răspîndit este *amidonul*. Acesta se găsește în frunze ca amidon tranzitoriu, format prin polimerizarea produșilor imediați ai fotosintezei și care nu au reușit să migreze din frunze. Amidonul se mai găsește și ca substanță de rezervă în semințe, tubercule, rizomi etc.

Transformarea amidonului în glucide simple are loc sub acțiunea fermentului amilază. Această transformare este strîns legată de variațiile de temperatură. Scăderea acesteia duce la hidroliza amidonului, iar creșterea este urmată de sinteză. O hidratare insuficientă a țesuturilor duce, de asemenea, la transformarea amidonului în zaharuri.

Un alt polizaharid, dar mai puțin răspîndit, este *inulina*. Acesta se sintetizează la nivelul plastelor într-un mod asemănător cu acel al amidonului în organele subterane ale unor compozee (rădăcini tuberizate, tuberculi).

Reacţiile de sinteză ale inulinei încă nu sînt pe deplin cunoscute. Se presupune că ea rezultă din molecule de fructoză, detaşate de la zaharoză.

Hemicelulozele se găsesc în plante ca substanţe de rezervă. Sinteza are loc fie din manane, fie din pentozane.

Celuloza este un polizaharid foarte răspîndit la plante, constituind membrana scheletică a celulei. Compoziţia sa chimică, precum şi structura sa au fost discutate în cadrul capitolului privind fiziologia celulei.

Substanţele pectice sînt produşi ai acidului pectic. Ele participă la formarea membranei scheletice, constituind lamela mediană. În aceasta din urmă, substanţele pectice formează pectaţi de magneziu şi de calciu. În urma hidrolizei pectaţilor, lamela mediană se distruge.

b) *Lipidele şi lipoidele*. Substanţele lipidice şi lipoidele cuprind grăsimile vegetale, uleiurile, substanţele ceroase şi fosfatidele. În corpul plantelor, lipidele (uleiurile şi grăsimile) formează substanţele de rezervă, lipoidele sînt substanţe de constituţie, iar ceridele au rol de protecţie. Sinteza substanţelor grase în corpul plantei decurge în trei etape. În prima are loc sinteza acizilor graşi, în a doua sinteza glicerinei, iar în etapa a treia intervine lipaza, care catalizează formarea legăturilor de esterificare dintre acizii graşi şi glicerină. Formarea acizilor graşi, precum şi a glicerinei are loc în cursul procesului de respiraţie.

c) *Substanţele proteice*. Compoziţia chimică, precum şi conformaţia moleculei acestor substanţe au fost tratate în cadrul capitolului referitor la fiziologia celulei. Aici se va trata numai procesul de sinteză al acestor substanţe din azotul mineral intrat în corpul plantei.

5. Sinteza primară a substanţelor proteice

Substanţele proteice de rezervă constituie unica sursă de nutriţie numai în cursul germinaţiei seminţelor, adică numai pînă în momentul cînd plantele încep procesul de fotosinteză. Pornind de aici, are loc sinteza substanţelor proteice din sărurile minerale ce conţin azot. Acest proces poartă numele de sinteză primară a substanţelor proteice.

Deoarece molecula substanţelor proteice este complexă, apare evident faptul că sinteza acestor substanţe trece, ca şi în cazul invers al hidrolizei prin două etape: 1) sinteza acizilor aminici; 2) sinteza moleculelor de substanţă proteică.

Plantele folosesc în cursul nutriţiei minerale atît azotul amoniacal, cît şi azotul nitric sub formă de nitraţi şi de nitriţi. În cazul azotului amoniacal, sinteza acizilor aminici are loc în prezenţa glucidelor. Aceste substanţe, în urma oxidării lor din cursul respiraţiei, formează acizi care, cu amoniacul, formează amide, şi apoi acizi aminici.

Mai frecvent însă, plantele întîlnesc în sol sărurile de azot oxidat ca nitraţi şi nitriţi. În cazul acestor forme de azot, sinteza primară a substanţelor proteice se prezintă mai complicată. Această sursă de azot ridică problema legată de procesele de transformare a formei oxidate de azot în forma redusă, caracteristică grupărilor aminice.

Scanned with OKEN Scanner

Cercetările au arătat că reducerea azotaților are loc destul de ușor în corpul plantei. În prezența hidrogenului, pus în libertate în cursul respirației, azotații se reduc treptat :

$$HNO_3 \rightarrow HNO_2 \rightarrow NH_2OH \rightarrow NH_3.$$

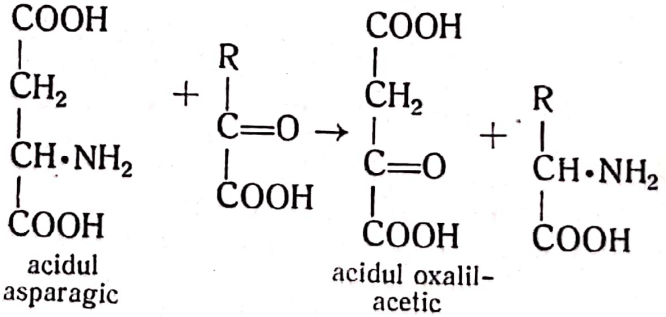
În cursul acestei reduceri, azotatul trece în azotit, apoi în hidroxilamină și, în sfîrșit, în amoniac. În legătură cu acest proces de reducere, apare problema organului la nivelul căruia are loc această reducere.

Încă pe la 1890 s-a emis părerea în legătură cu formarea substanțelor proteice la nivelul frunzei. În baza experiențelor făcute s-a constatat că în timpul zilei, la lumină are loc în frunză o creștere cantitativă nu numai a substanțelor glucidice, ci și a celor proteice.

Datele experimentale au arătat că plantele hrănite cu nitrați conțin aceste săruri în frunzele lor. De aici s-a tras concluzia că nitrații ajung, cu apa absorbită de către rădăcină, pînă în țesuturile frunzei. În aceste organe, în prezența luminii are loc sinteza primară a substanțelor proteice.

Recent, s-a identificat prezența a 15 acizi aminici sintetizați la nivelul rădăcinii. Rezultă deci că rădăcina, în afara funcției de absorbție, mai are și o funcție de sinteză primară a substanțelor proteice. Cercetările arată că, în condiții normale, azotații nu se pot pune în evidență nici la nivelul țesuturilor din tulpină. Reducerea nitraților are loc încă la nivelul țesutului parenchimatic din scoarța rădăcinii. Aici, nitrații, în prezența glucidelor, sînt reduși pînă la formare de amoniac, care imediat este captat de către cetoacizi, formîndu-se aminoacizi. Unii dintre aceștia, ca acidul asparaginic și glutaminic, prin fixarea de amoniac se transformă în amidele asparagina și glutamina. Prin urmare, în cazul reducerii azotaților, lumina nu joacă un rol direct. Formarea amidelor, asparaginei și a glutaminei, în cea mai mare parte are loc la nivelul rădăcinii. Rolul luminii este indirect, întrucît ea participă la sinteza substanțelor glucidice.

Sinteza acizilor aminici este legată de formarea acizilor bicarbonici cu funcția cetonică. Acești acizi rezultă în urma transformării oxidative a glucidelor, formînd verigile componente ale ciclului lui Krebs. Acizii aminici formați (de exemplu, acidul asparagic) în prezența unui alt cetoacid oarecare au proprietatea să cedeze gruparea aminică :



acidul asparagic — acidul oxalil-acetic

Acidul oxalil-acetic, rezultat în urma cedării grupării aminice, poate să capteze din nou amoniacul și să devină acidul asparagic. Această reacție poartă numele de reaminare. Deoarece acizii bibazici cu funcții cetonice se formează în cursul respirației din acidul piruvic, rolul oxigenului apare destul de evident.

Etapa a doua a sintezei substanțelor proteice constă în formarea moleculei complexe, alcătuită din acizi aminici. S-a constatat că și această etapă este strîns legată de prezența glucidelor și a oxigenului.

Datele experimentale arată că organele secționate prezintă, la nivelul rănii, o intensificare a procesului de respirație, precum și o creștere a sintezei de substanțe proteice. Unii cercetători atribuie respirației rolul de aprovizionare cu energie necesară acestei sinteze. Calculele arată însă că sinteza substanțelor proteice din acizi aminici nu necesită cantități mari de energie. Pare a fi mai potrivită explicația bazată pe activarea fermenților proteolitici, ce are loc în prezența oxigenului.

În compoziția fermenților proteolitici, de exemplu a papainazelor, intră gruparea sulfhidrică — SH —. Această grupare, conținînd sulful redus, favorizează activitatea hidrolitică a acestor fermenți. În prezența oxigenului, gruparea sulfhidrică se oxidează, trece în cea disulfidică — S—S — favorizînd activitatea sintetică a papainazelor.

Rezultă deci că sinteza primară a substanțelor proteice este mai complexă decît aceea a substanțelor proteice ce se formează pe socoteala rezervelor din semințe.

6. Substanțele organice de origine secundară

Alcaloizii sînt substanțe azotoase cu grupare aminică. Se găsesc la diferite plante, fără a constitui o caracteristică legată de poziția sistematică a acestora. Multe din aceste substanțe manifestă o acțiune fiziologică puternică asupra organismului animal, din care cauză sînt folosite în medicină. Rolul lor pentru viața plantelor încă nu a fost lămurit.

Alcaloidul cel mai bine studiat este nicotina. Se formează la plantele din genul *Nicotiana*. Se acumulează în frunzele de tutun, deși sinteza sa are loc la nivelul rădăcinii.

Un alt alcaloid important este cofeina, care se formează în corpul plantelor de cafea, ceai. O structură mai complexă o au alcaloizii chinina și morfina.

Uleiurile eterice se acumulează la plante la nivelul frunzelor, și anume în perii glandulari, în glande speciale sau în celule cu o conformație specifică. În general, uleiurile eterice sînt formate mai ales din terpene. Rolul biologic al uleiurilor eterice încă nu a fost lămurit. În general ele se pierd prin evaporare în atmosferă, căreia îi imprimă un miros specific, uneori destul de pătrunzător.

Cauciucul reprezintă un compus poliizoprenic, caracteristic pentru o serie de plante specifice ca *Hevea braziliensis* din regiunile tropicale sau *Scorzonera tausaghyz* din regiunile temperate. La nivelul celulelor, cauciucul se prezintă sub forma unor microglobule înconjurate de o peliculă proteică, formată din fermenții ce au catalizat sinteza cauciucului. Celulele ce pot conține cauciuc fac parte dintr-un țesut special format din vase lacticifere sau din țesut asimilator obișnuit. Cauciucul nu se formează direct în cursul fotosintezei. El reprezintă un compus secundar, ce rezultă în urma transfor-

Scanned with OKEN Scanner

mării produselor de fotosinteză. Rolul biologic al cauciucului însă nu este lămurit. S-a constatat că în cursul înfloritului și a formării organelor de fructificare, cantitatea de cauciuc scade. De aici s-a tras concluzia că el joacă rolul unei substanțe de rezervă. Substanțele tanante se găsesc la un număr foarte mare de plante ca stejar, ceai etc. Calea de sinteză a acestor substanțe, precum și rolul lor fiziologic încă nu au fost lămurite.

7. Transformarea substanțelor organice în cursul germinației semințelor

Substanțele organice, în cea mai mare parte a lor se sintetizează în frunze. Aici este locul de transformare a celor mai numeroase substanțe din corpul plantei. Totuși, mersul acestor procese este foarte greu de urmărit la nivelul frunzelor.

In primul rînd, în frunză se desfășoară în mod simultan un număr foarte mare de transformări. Reacțiile ce se desfășoară formează un complex în care este greu de urmărit transformarea fiecărei substanțe în parte. In al doilea rînd, la nivelul frunzei are loc transformarea unor cantități mici de substanțe care, pe măsură ce se formează, migrează din frunze în spre celelalte organe și părți ale plantei.

Deci, pentru a se studia transformarea substanțelor în corpul plantei, frunzele se pot folosi mai greu. Cel mai adesea se folosesc semințele, precum și alte organe de rezervă. In acestea, substanțele organice se găsesc depozitate în cantități mai mari. In cazul semințelor, ca și în cazul organelor de rezervă se constată o stare de repaus, cînd aceste rezerve rămîn neschimbate, și deci pot fi analizate din punct de vedere chimic.

In cursul trecerii la viața activă, substanțele de rezervă se transformă, dînd naștere la substanțe noi, dar în cantități ce pot fi analizate într-un mod destul de precis. Produșii proveniți din transformarea substanțelor de rezervă sînt transportați spre diferitele părți ale plantei, unde este nevoie pentru creștere, respirație etc. Substanțele de rezervă se găsesc înmagazinate fie într-un țesut situat în afara embrionului, fie în cotiledoane, adică în frunzele modificate ce îndeplinesc acest rol. Deoarece utilizarea acestor rezerve are loc în punctele de creștere ale embrionului, substanțele de rezervă sufăr transformări pentru a migra și a ajunge pînă la aceste puncte. Deci în cazul semințelor există posibilitatea studierii formelor sub care circulă substanțele organice.

In sfîrșit, în timpul creșterii embrionului, substanțele ce sosesc pînă la punctele de creștere sînt folosite pentru sinteze, adică se transformă în substanțe ce alcătuiesc părțile celulelor noi.

Din punct de vedere chimic, substanțele ce se găsesc sub forma de rezervă în semințe sînt extrem de diferite. In general, substanțele ce predomină cantitativ pot fi împărțite în trei grupe principale : 1) lipide ; 2) glucide ; 3) substanțe proteice. Pornind de aici și semințele se împart în oleaginoase, amidonoase și albuminoase. Numărul cel mai mare de specii se caracterizează prin semințe lipidice. Acest lucru se explică prin faptul că re-

Scanned with OKEN Scanner

zervele lipidice sînt ușoare, hidrofobe, și deci ușurează transportul semințelor pe distanțe mari, mai ales datorită volumului mic ocupat de către aceste forme de rezervă. Pentru același volum, substanțele lipidice conțin o cantitate de calorii cu mult mai mare decît substanțele glucidice.

În practica agricolă se cultivă mai mult plantele cu semințe amidonoase, fapt care face ca aceste semințe să predomine cantitativ pe suprafața globului. Rezervele glucidice din semințe sînt reprezentate prin amidon. Glucidele de tipul monozaharidelor și în general al glucidelor solubile nu se găsesc la semințe, ci în organele subterane ca : rizomi, bulbi etc.

Substanțele proteice se găsesc în mod obișnuit asociate cu cele lipidice. Numai la plantele leguminoase, rezervele de substanțe proteice sînt însoțite de cele glucidice.

Pentru a urmări complexul de transformări caracteristice diferitelor substanțe din semințe, se va examina procesul de germinație a acestora potrivit celor trei tipuri principale de rezervă.

a. *Transformarea substanțelor glucidice în cursul germinației semințelor*

Semințele, în stare de repaus, conțin 12—15% apă. În această stare, toate procesele fiziologice sînt oprite în afara procesului de respirație. Dar și acest proces se desfășoară extrem de slab. Îndată ce semințele sînt puse în condiții favorabile de apă, temperatură și oxigen, procesele se activează, iar embrionul începe să crească. Exemplul clasic pentru studierea transformării substanțelor glucidice îl constituie bobul de grîu. La nivelul bobului de grîu, rezerva predominantă o constituie amidonul (fig. 99). În afară de acesta se mai găsește o substanță asemănătoare cu celuloza, care se numește, hemiceluloză, precum și alte substanțe în cantitate mai mică.

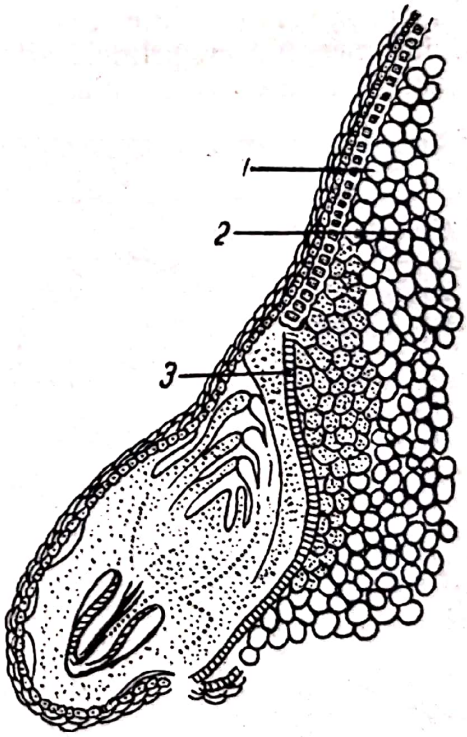


Fig. 99. Poziția embrionului față de rezervele din endosperm :
1 — pericarp și tegument; *2* — stratul cu aleuronă; *3* — celule de ensoperm

Amidonul se găsește depozitat sub formă de grăunciori de amidon. Aceștia reprezintă plaste la al căror nivel s-a acumulat amidonul. Acest polizaharid este format din două substanțe : amiloza și amilopectina. Amilopectina se găsește la exteriorul grăunciorului de amidon, iar amiloza către partea internă.

În cursul germinației semințelor, amidonul este atacat de către fermentul amilaza. Există două feluri de amilază : amilază α și amilaza β. Ambele au proprietatea să hidrolizeze amidonul pînă la maltoză. Deosebirea o constituie faptul că amilaza α des-

face legăturile dintre dextrine, pe cînd amilaza β desface catena principală pînă la dizaharidul maltoză. Maltoza, la rîndul său, este hidrolizată de către maltază, rezultînd două molecule de glucoză.

În cursul primelor zile de germinație, cantitatea de fermenți este mică. În curînd însă, ea crește mai ales datorită țesuturilor din care este format scutelum și a stratului cu aleuronă.

Dacă se determină cantitatea de amidon din prima zi a germinației, și apoi la diferitele intervale de timp, se constată că aceasta scade mereu. În schimb însă, apar diferitele glucide solubile ca mono- și dizaharidele. La început, cantitatea acestor glucide crește, dar apoi ea rămîne aproape constantă în tot cursul germinației. În același timp se observă formarea crescîndă a celulozei. Aceasta reprezintă substanța din care este alcătuit peretele celulelor noi ce se formează mereu.

Dacă se reprezintă în mod grafic raportul între diferitele substanțe de la nivelul seminței ce germinează, se obține schema din figura 100. Din această schemă se constată că în totalul de glucide de la începutul germinației predomină mai ales amidonul. După 40 de zile, cantitatea lui devine cu totul neînsemnată. În schimb, chiar în primele zile apar mono- și dizaharide. Acestea sînt substanțele ce rezultă în urma hidrolizei amidonului. Fiind solubile, aceste substanțe reprezintă formele ce participă la circulația glucidelor de la locul de depozitare și pînă la locul lor de utilizare (embrion). Cantitatea acestor monozaharide și dizaharide la început crește, apoi rămîne neschimbată, deși amidonul scade cantitativ mereu. Acest fapt se explică prin procesele de sinteză ce au loc în mod paralel cu procesul de hidroliză. Chiar începînd cu primele zile, analizele arată creșterea cantității de celuloză. Sinteza celulozei merge în mod paralel cu creșterea embrionului, adică cu procesul de formare a celulelor noi.

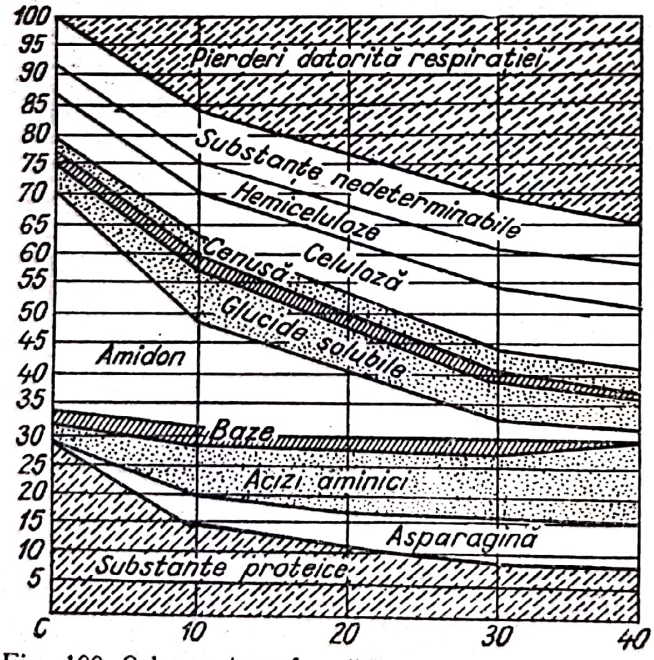


Fig. 100. Schema transformării substanțelor glucidice și a celor proteice în cursul germinației semințelor

Dacă se face o comparație între totalul substanțelor glucidice de la începutul germinației și totalul substanțelor glucidice după 40 de zile de germinație, se constată următoarele: după 40 de zile, cantitatea totală de glucide este cu mult mai mică. Rezultă că o parte din substanțele glucidice au fost pierdute. Această pierdere se explică prin procesul de respirație, care este foarte intens în cursul germinației. În timpul respirației se utilizează monozaharidele care sînt transformate în bioxid de carbon și apă, precum și o cantitate de energie necesară pro-

ceselor de creștere. Așa se explică de ce monozaharidele formate nu se acumulează în cantitate din ce în ce mai mare la nivelul seminței.

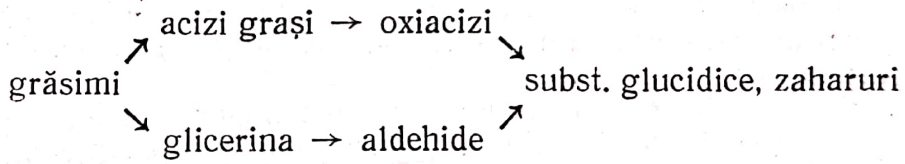
Din mersul procesului de germinație se mai constată că transformarea substanțelor cu molecula complexă în substanțe cu molecula mai simplă are loc în mod treptat. Acest lucru este absolut necesar, deoarece cantitatea mare de monozaharide din celule ar crea un potențial osmotic prea mare. Membranele celulare nu ar putea rezista la o presiune atît de mare, creată pe socoteala acestor substanțe osmotic active. În afară de aceasta, nici procesul de creștere nu ar putea să aibă loc în condițiile unui astfel de potențial osmotic.

Rezultă deci că fermenții determină descompuneri treptate, lente, dar care se desfășoară în mod continuu, adică așa cum o necesită procesele de creștere, care sînt și ele continui și necesită un aport neîntrerupt de energie pentru menținerea acestei creșteri.

b. *Transformarea substanțelor lipidice în cursul germinației semințelor*

Lipidele sînt substanțe cu molecula formată dintr-un alcool-glicerina și diferiți acizi grași. Sub această formă, substanțele lipidice nu pot migra pînă la locul de utilizare. Ca urmare ele suferă o serie de transformări care sînt cu mult mai complexe decît acelea ale substanțelor glucidice. Din totalul acestor transformări numai o parte sînt bine cunoscute.

Cercetările făcute arată următoarea schemă a transformărilor ce au loc la nivelul substanțelor lipidice :



În cursul germinației, grăsimile se descompun prin hidroliză în acizi grași și glicerină. Desfacerea este catalizată de către fermentul lipaza. Acest ferment are optimum de activitate la un *p*H acid de 4,5—5. Deoarece prin desfacerea grăsimilor rezultă acizii organici, mediul se menține la un *p*H scăzut. În acest caz se consideră că fermentul lipaza are proprietatea de a se autocataliza.

Acizii grași se oxidează în oxiacizi, fapt care explică și rolul oxigenului pentru mersul normal al germinației semințelor. Glicerina nu a putut fi pusă în evidență în mediul în care are loc hidroliza, probabil din cauza transformării sale rapide în aldehide.

Substanțele rezultate în urma hidrolizei lipidelor se transformă în zaharuri care, parțial, trec în polizaharide, pentru a se evita creșterea potențialului osmotic din celule. Așa se explică cauza pentru care se găsesc grăunciorii de amidon în plantulele de ricin, de floarea-soarelui, deși semințele lor nu conțin acest fel de rezerve. Sursa lipazei o constituie cotiledoanele plantulelor.

Scanned with OKEN Scanner

Mersul transformării lipidelor din seminţe poate fi urmărit din tabelul 29.

Tabelul 29

Transformarea lipidelor în cursul germinaţiei seminţelor de floarea-soarelui

100 seminţe	Iniţial	După 4 zile	După 7 zile	După 14 zile
Grăsimi şi acizi graşi	4,0 g	3,2 g	1,5 g	0,55 g
Zaharuri	0,30 g	0,80 g	0,55 g	0,21 g

Din datele acestui tabel se constată că pe măsura avansării în germinaţie a seminţelor, cantitatea de grăsimi scade. Cantitatea de zaharuri, la început creşte, apoi scade în legătură cu circulaţia şi utilizarea acestor substanţe pentru procesele de creştere.

c. *Transformarea substanţelor proteice în cursul germinaţiei seminţelor*

Substanţele proteice de rezervă se găsesc sub forma de molecule complexe. Pentru a putea circula şi a ajunge pînă la embrion, şi anume pînă la punctele de creştere ale acestuia, substanţele trebuie hidrolizate, adică transformate în molecule mai simple. Aceste molecule simple sînt aminoacizii. Transformarea substanţelor proteice este catalizată de către fermenţii proteolitici, şi anume de către proteinaze, şi apoi de către peptidaze. Dintre proteinaze fac parte papainazele. Fermentul proteolitic cel mai activ este papainaza, care a fost extras din fructele plantei *Caryca papaya*, de unde îi provine şi denumirea.

În cursul proceselor de transformare a substanţelor proteice se constată apariţia şi creşterea de acizi aminici. Transformarea substanţelor proteice complexe în acizi aminici are loc în mod treptat. La sfîrşitul procesului de germinaţie se constată o cantitate de proteine rămase nedescompuse. Acestea sînt proteinele ce formează protoplasma celulelor în care au fost depozitate substanţele de rezervă. Aceasta fiind formată din proteine simple combinate cu nucleine nu este atacată de fermenţi. În schimb însă, substanţele proteice de rezervă suferă o descompunere foarte intensă.

Acizii aminici rezultaţi sînt substanţe simple, solubile şi deci pot să circule foarte uşor pînă la nivelul punctelor de creştere. Ajungînd în zonele de creştere, acizii aminici se combină din nou pentru a forma molecule complexe de proteine pentru protoplasma celulelor nou formate.

Încă Boussingault (1864) a arătat că paralel cu formarea de acizi aminici, în seminţele ce germinează apare amida asparagina. Schultze (1875) a constatat că paralel cu acumularea asparaginei, cantitatea de acizi aminici scade. El a fost primul care a emis părerea că asparagina trebuie să fie forma intermediară pentru sinteza substanţelor proteice. Fiziologul german Pfeffer a căutat să explice rolul asparaginei pentru procesul

de germinație a semințelor. După acest autor, asparagina rezultă din descompunerea substanțelor proteice, așa cum rezultă și acizii aminici.

Analizele cantitative au arătat însă că asparagina se găsește în substanțele proteice de rezervă într-o cantitate cu mult mai mică decît cea care se constată în cursul germinației semințelor. Problema a fost lămurită de către agrochimistul D. N. Prianișnikov. Acesta a lucrat cu diferite semințe, dar mai ales cu cele de lupin. Aceste semințe, fiind puse la germinat în condiții de întuneric, acumulează în ele atît acizii aminici, cît și asparagina. D. N. Prianișnikov a demonstrat că asparagina nu este un rezultat al hidrolizei substanțelor proteice de rezervă, ci din contră, ea este rezultatul unor procese de sinteză. D. N. Prianișnikov redă rezultatul cercetărilor sale sub forma unei scheme :

substanțe proteice → acizii aminici → subst. proteice noi →

→ amoniac + R.C. → aspargarina → acizi aminici.

D. N. Prinișnikov a arătat că printre acizii aminici ce se formează în urma hidrolizei apar și acizii ce nu pot fi folosiți pentru sinteza substanțelor proteice noi. Compoziția chimică a acestora nu se potrivește cu aceea a acizilor aminici necesari pentru formarea de protoplasmă nouă. Ca urmare, acești acizi suferă procesul de dezaminare datorită dezaminazelor. Gruparea aminică detașată trece în amoniac. Această substanță este toxică pentru celulele vii. Îndată după formare, amoniacul este captat de către substanțe ce au o mare afinitate pentru el. Astfel de substanțe sînt acidul asparagic și acidul glutamic. Ca rezultat avem formarea de amide ca asparagina și glutamina.

Prin urmare, apariția amidelor se explică prin nevoia ca unii dintre acizii aminici rezultați în urma hidrolizei substanțelor proteice de rezervă să-și piardă specificitatea lor. În ce privește acizii ca cel asparagic și glutamic, aceștia se găsesc în cantități destul de mici în celule. În cursul germinației însă, apariția lor în cantitate mai mare se explică prin legătura ce există între procesul de respirație și transformarea substanțelor proteice de rezervă. În cursul respirației rezultă o serie de ceto-acizi. Aceștia, în prezența amoniacului, formează acizi aminici ca : acidul asparagic, acidul glutamic etc. Prin captare de amoniac, ei dau amidele asparagina și glutamina.

În baza analizelor făcute, D. N. Prianișnikov a constatat că în cazul semințelor negerminate din hidrolizarea substanțelor proteice rezultă circa 5% asparagină. În cazul semințelor germinate, cantitatea de asparagină crește pînă la 50%. Acest fapt arată că asparagina nu reprezintă un produs primar al hidrolizei substanțelor proteice de rezervă.

Lucrînd cu semințe ce conțineau atît rezerve glucidice, cît și rezerve proteice, D. N. Prianișnikov le-a pus să germineze în condiții de întuneric, într-o soluție de săruri de amoniu. El a constatat că cu cît semințele conțin mai multe substanțe glucidice, cu atît sărurile de amoniu erau utilizate în cantitate mai mare. Repetînd experiențele cu boabe de lupin, el a constatat că sărurile de amoniu date semințelor nu sînt utilizate. Explicația constă în faptul că sursa de ceto-acizi o constituie substratul glucidic. În cazul semințelor puse în condiții de lumină, acest substrat se realizează în cursul fotosintezei. În condiții de întuneric, sursa o constituie glucidele

din seminţe. Seminţele de lupin, fiind lipsite de rezerve glucidice, nu pot folosi sărurile de amoniu date în mediul în care germinează seminţele.

Prin aceste cercetări, D. N. Prianişnikov a confirmat analogia făcută încă de către Boussingault în ce priveşte rolul asparaginei la plante şi rolul ureei la animale. La animale, ureea reprezintă un produs final al descompunerii substanţelor proteice pînă la amoniac. Acest produs însă nu mai este utilizat, ci este eliminat împreună cu alte produse prin urină. La plante, asparagina este analogă ureei. Ea reprezintă substanţa ce conţine amoniacul provenit în urma dezintegrării substanţelor proteice de rezervă. Deoarece plantele fac economie de azot, asparagina nu este eliminată, ci din contră, ea cedează grupările aminice acizilor ce vor constitui apoi substanţele proteice noi.

Dacă se reprezintă în mod grafic transformarea substanţelor proteice în cursul germinaţiei seminţelor, se constată următoarele (v. fig. 100): pe măsură ce substanţele proteice, cu molecula mare, scad cantitativ, acizii aminici cresc; în mod paralel creşte şi cantitatea de asparagină şi de glutamină; dacă la sfîrşitul germinaţiei se face totalul substanţelor proteice rezultate şi se compară cu totalul iniţial, se constată că acesta a rămas neschimbat, deoarece planta face economie de azot; această economie se explică prin faptul că în mediul exterior, cantitatea de substanţe cu azot accesibil este deseori mică.

Luînd în consideraţie transformarea substanţelor proteice în cursul germinaţiei seminţelor, precum şi în cursul sintezei primare a acestor substanţe, D. N. Prianişnikov dă următoarea schemă, în care subliniază rolul deosebit ce-i revine asparaginei (fig. 101). Partea din stînga schemei reprezintă sinteza primară a substanţelor proteice. Acestea se formează din azotaţi sau săruri de amoniu, trecînd prin asparagină şi acizi aminici. În partea dreaptă a schemei este reprezentată transformarea substanţelor proteice de rezervă în acizi aminici, şi în parte în amoniac, în cursul germinaţiei seminţelor. Amoniacul este captat de către asparagină, şi apoi trecut altor acizi organici cu funcţia cetonică. Deoarece ceto-acizii se formează în cursul transformărilor oxidative ale glucidelor, apare în mod evident rolul respiraţiei pentru desfăşurarea acestui proces. După expresia plastică a lui D. N. Prianişnikov, asparagina este alfa şi omega pentru procesul de transformare a substanţelor proteice în corpul plantei.

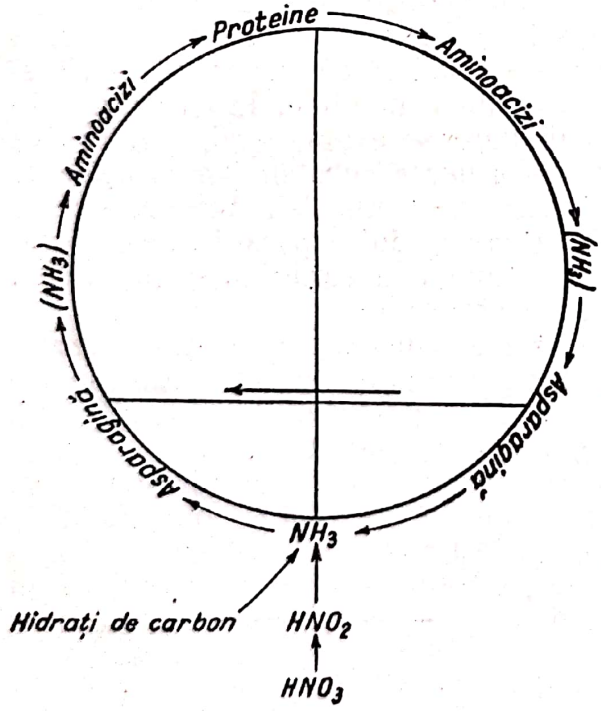


Fig. 101. Schema transformării substanţelor proteice după D. N. Prianişnikov

B. CIRCULAŢIA SUBSTANŢELOR ORGANICE ÎN CORPUL PLANTELOR

1. Generalităţi

În frunzele plantelor verzi se sintetizează substanţele glucidice într-o cantitate apreciabilă. Paralel cu acestea, se mai formează şi diferitele substanţe proteice mai mult sau mai puţin complexe. Toate substanţele, pe măsura sintezei lor, se transformă în substanţe cu molecula mare. Astfel avem amidonul, proteinele etc. Prezenţa substanţelor cu molecula simplă ar crea o presiune osmotică ridicată, fapt care ar împiedica buna funcţionare a celulelor. Forma substanţelor cu molecula mare este o formă tranzitorie.

Fiziologul J. Sachs a fost primul care a arătat că amidonul din frunze este un amidon tranzitoriu. Există specii de plante la care, în urma fotosintezei, se acumulează zaharuri, şi nu amidon. Ca exemplu se pot cita frunzele de mazăre.

În legătură cu felul glucidelor, acumulate în frunză în urma fotosintezei, speciile de plante se împart în cele cu frunze amilifere şi altele cu frunze zaharifere.

Substanţele acumulate în frunze migrează în spre părţile de utilizare. Aşa sînt vîrfurile tinere ale tulpinii, ale rădăcinii, în stare de creştere activă. Fructele, seminţele pe cale de formare reprezintă de asemenea organe spre care are loc afluxul de substanţe formate la nivelul frunzelor.

Migraţia substanţelor din frunze poate fi uşor constatată prin metoda jumătăţilor de frunză. Seara, după apunerea soarelui, se ia primul lot de jumătăţi, iar al doilea se ia dimineaţa, înainte de răsăritul soarelui. Diferenţa în greutate a substanţei uscate, cuprinsă în fiecare lot, arată că în cursul nopţii a avut loc o migrare a substanţelor, aşa încît lotul de dimineaţă apare cu o greutate mai mică.

Migraţia ce are loc în cursul zilei se determină în felul următor : se determină cantitatea de bioxid de carbon asimilată de o anumită suprafaţă a frunzelor. Prin metoda jumătăţilor de frunză se determină cantitatea de substanţe ce au rămas la nivelul frunzelor în intervalul de timp respectiv.

În privinţa migraţiei exista un timp părerea conform căreia se admitea că procesul de migraţie are loc sub forma unui curent continuu, atît ziua, cît şi noaptea. Se bănuia că acest proces ziua este mascat de procesul asimilaţiei bioxidului de carbon. Cercetările făcute au arătat că în realitate, felul migraţiei variază în legătură cu specia plantei. La cartof, de exemplu, ziua are loc numai asimilaţia, iar migraţia din frunze are loc numai noaptea. La mazăre, migraţia are loc numai ziua, aşa încît acest proces se desfăşoară în mod paralel cu procesul de fotosinteză. Migraţia variază şi în legătură cu vîrsta plantei, cu epoca din viaţa plantei. Astfel, la plantele cu o creştere intensă în cursul perioadei de vegetaţie, substanţele asimilate migrează spre părţile cu o creştere intensă, deci spre centrele de utilizare. În epoca de fructificare, migraţia substanţelor asimilate are loc în spre

organele de depozitare. La plantele ierboase, înainte de înflorire, se constată o încetinire a ritmului de creștere, iar substanțele asimilate migrează și se depun la nivelul tulpinii. După înflorire are loc migrația spre fructe și semințe. La plantele lemnoase, migrația are loc atît în perioada de creștere, cît și în cursul perioadei de fructificare. În afară de aceasta, înainte de căderea frunzelor are loc migrația substanțelor în spre părțile ce rămîn peste iarnă. Dintre elementele ce migrează din frunze sînt fosforul, azotul, potasiul. Calciul, din contră, rămîne la nivelul țesuturilor din frunză.

S-a constatat că toamna frunzele galbene ce cad conțin o cantitate de glucide acumulată în decursul a 2—3 zile. În general, planta face risipă în ce privește substanțele glucidice, deoarece le procură relativ ușor.

2. Formele de circulație a substanțelor organice

Substanțele glucidice circulă din frunză în tot corpul plantei sub forma solubilă, simplă. T. G. Mason și E. Phillis (1936) au arătat că forma de circulație a glucidelor este zaharoza. În celulele parenchimatice ale frunzelor se găsesc însă glucide solubile sub formă de glucoză și fructoză. La nivelul nervurilor, aceste monoze suferă transformări, trecînd în zaharoză.

Circulația zaharozei are loc potrivit gradientului de concentrație. Din locul unde concentrația ei este mai mare, zaharoza se îndreaptă în spre locul unde concentrația sa este mai mică. Faptul că zaharoza nu refulează în direcția opusă, adică în spre celulele frunzei, unde concentrația sa este mai mică, se explică prin lipsa de permeabilitate a protoplasmei celulelor pentru acest zahăr.

Substanțele proteice circulă sub forma de acizi aminici, asparagina și glutamina.

3. Căile de circulație ale substanțelor organice

Încă H. Malpighi (1671) a încercat să demonstreze că substanțele organice circulă prin țesutul liberian. Pentru experimentare, el a folosit o ramură cu frunze prevăzută cu două ramificații identice și care a fost pusă în apă. Una dintre ramificații a fost decorticată inelar, adică i s-a îndepărtat scoarța sub formă de inel, așa încît numai lemnul a rămas neîntrerupt. Cealaltă ramificație a rămas ca martor. După un timp oarecare s-a constatat formarea unui calus bogat pe buza superioară a decorticării. Buza inferioară, din contră, avea un calus foarte puțin dezvoltat. Deoarece ambele ramuri se dezvoltau bine, Malpighi a tras concluzia că apa circulă prin vasele de lemn, rămase continui, iar prin liber circulă substanțele asimilate.

Fr. Czapek (1897) introduce metoda decorticărilor inelare scalariforme. Acestea sînt decorticări inelare la care cele două buze apar unite prin porțiuni de scoarță în forma unor trepte de scară. Prin numeroase expe-

Scanned with OKEN Scanner

rienţe el demonstrează că substanţele organice circulă prin liber. Prin urmare, circulaţia substanţelor asimilate prin liber părea un fapt bine stabilit.

În acelaşi timp, E. Fischer a constatat prezenţa zaharurilor, precum şi a substanţelor proteice la nivelul ţesutului lemnos. T. N. Deleanu (1911), lucrînd cu peţiolul frunzelor de viţă de vie, constată că amidonul refulează din frunze chiar dacă peţiolul este omorît. Aceste date pun la îndoială faptul că substanţele organice circulă prin ţesutul liberian. Din contră, ele pledează în favoarea admiterii unei căi formate din elemente moarte, cum sînt de exemplu acelea ale ţesutului lemnos. Problema a fost reluată de către Fr. Dixon şi C. Ball (1920). Ei au lucrat cu tubercule de cartof puse la încolţit, precum şi cu acele ce se aflau în stare de creştere. Prin analize şi calculele respective ei ajung la concluzia că substanţele organice, şi anume amidonul circulă cu o viteză mare, de 50 cm pe oră. Această viteză nu ar putea fi realizată în interiorul tuburilor ciuruite, care sînt prevăzute cu protoplasmă şi cu membrane transversale. În baza acestor cercetări, autorii combat ideea circulaţiei prin ţesutul liberian şi susţin circulaţia prin vasele de lemn.

J. Sachs, constatînd prezenţa amidonului în celulele parenchimatice, a emis părerea că prin vasele de liber circulă numai substanţele proteice, pe cînd amidonul circulă prin celule parenchimatice. I. Curtis reia problema folosind metoda decorticărilor inelare. Pentru a evita uscarea ramurii, locul de rănire îl acoperă cu unt de cacao. Prin experienţele sale se ajunge la concluzia că liberul este calea de conducere a substanţelor asimilate.

Meritul de a fi lămurit pe deplin calea de circulaţie a substanţelor organice i-a revenit fiziologului romîn E. Teodorescu. În colaborare cu C. T. Popescu (1915), el aplică metoda decorticărilor inelare scalariforme, dar, spre deosebire de Czapek, ramurile rămîn nedetaşate de planta respectivă. După un oarecare timp de la montarea experienţei, autorii au constatat că de-a lungul buzei superioare se formează calusul care apoi coboară de-a lungul porţiunii verticale a scoarţei (fig. 102). Buza inferioară rămîne cu un calus foarte puţin dezvoltat. Prin secţiuni anatomice, autorii au constatat că vasele de liber de la nivelul calusului se refac după o direcţie oblică, adică prezintă tendinţa de a restabili legătura cu partea inferioară a scoarţei. În ce priveşte ţesutul parenchimatic, acesta, din contră, rămîne puţin dezvoltat, deci asemănător cu parenchimul buzei inferioare. Prin aceste analize anatomice s-a confirmat în mod precis faptul că elementele ţesutului liberian constituie calea pentru circulaţia substanţelor asimilate.

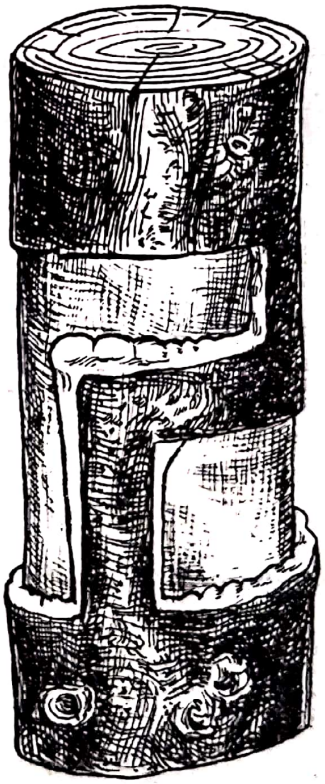


Fig. 102. Decorticarea scalariformă după E. C. Teodorescu

I. Gr. Mihăilescu (1932), prin întreruperea nervurilor de pe fața inferioară a frunzei, demonstrează că refularea substanțelor asimilate la nivelul acestor organe are loc prin intermediul fasciculelor de liber.

4. Mecanismul de circulație a substanțelor asimilate

Forțele care determină circulația substanțelor asimilate în corpul plantei, adică mecanismul de circulație a acestor substanțe, este foarte greu de studiat. Circulația substanțelor asimilate, are loc prin elementele anatomice complet deosebite de acelea prin care are loc circulația apei și a substanțelor solvite în ea. Tuburile ciuruite sînt formate din elemente vii, adică din celule care, aranjate cap la cap, comunică între ele prin membranele transversale ce au aspectul unor ciururi. Celulele vii, din care sînt alcătuite tuburile ciuruite, sînt formate din citoplasmă, nucleu, iar în centrul celulei se află o vacuolă mare. Rezultă deci că legile circulației, aplicate la nivelul vaselor de lemn, nu pot fi aplicate și aici. La aceste caracteristici ale elementelor liberiene se mai adaugă și faptul că substanțele care circulă se găsesc în cantități mici la nivelul acestor vase. În ce privește apa și sărurile minerale, care circulă prin vasele de lemn, se află în cantitate relativ mare, fapt care permite o analiză destul de precisă a acestora. Datorită acestor greutăți întîmpinate la studiul mecanismului circulației, această problemă se află în stare de ipoteze care explică numai unele aspecte din complexul întreg al acesteia. Ipotezele existente se pot împărți în două grupe : 1) ipoteze ce admit circulația substanțelor prin vacuola tuburilor ciuruite ; 2) ipoteze ce admit circulația substanțelor prin citoplasma tuburilor ciuruite.

În cazul circulației prin vacuolă se admite că aceasta are loc fie datorită forțelor de difuziune, fie datorită forțelor osmotice asociate cu presiunea hidromotrică ce apare în interiorul vaselor.

Primele explicații date admiteau circulația datorită fenomenului de difuziune. Determinările făcute în laboratorul lui Pfeffer de către Birch-Hirschfeld (1920) au arătat că viteza de circulație prin tuburile ciuruite ar fi fost prea înceată dacă s-ar face datorită difuziunii. Experiențele făcute în vitro arată că difuziunea unui miligram de zahăr într-o soluție apoasă de 10%, la distanța de 1 metru, are loc timp de 2 ani și 7 luni. Pentru substanțele proteice solubile, ce difuzează la aceiași distanță, este nevoie de un timp egal cu 14 ani.

Datele experimentale arată că în tuburile ciuruite, soluția de substanțe organice circulă cu 50—80 cm pe oră.

C. Münch (1930) a elaborat teoria circulației substanțelor organice prin vacuola tuburilor ciuruite pe baza principiului osmozei. El concepe osmoza pe baza teoriei mai vechi a atracției dintre moleculele corpului solvit și moleculele apei. Moleculele corpului solvit exercită o forță de atracție mare, atrăgînd apa în felul unui burete. In cazul acesta, volumul soluției crește datorită presiunii pe care o exercită asupra recipientului în care este închisă, iar apa poate fi presată la exterior dacă felul pereților permite acest lucru.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru a demonstra natura forțelor ce determină circulația substanțelor organice prin tuburile ciuruite, C. M ü n c h procedează la montarea experienței cu bombele osmotice (fig. 103). Acestea sînt două vase cu pereții perfect semipermeabili. Aceste bombe comunică între ele printr-un tub de sticlă adus de două ori în unghi drept. În vasul A se află soluția concentrată de zaharoză, iar în vasul B — apa distilată. Ambele vase sau bombe sînt scufundate în cristalizoare cu apă distilată. Soluția de zaharoză atrage apa și-și mărește volumul. Ca urmare se naște o forță hidromotrică care determină deplasarea soluției sub formă de curent prin tubul de comunicare în spre vasul B. În urma pătrunderii cu forța a soluției în vasul B, apa din acest vas este presată și se filtrează prin pereții semipermeabili în afară. Prin urmare, se naște un curent al soluției din vasul A în spre vasul B, iar din vasul comun înspre A un curent de apă. Această deplasare a soluției și a apei are loc pînă cînd soluția din vasele A și B devine egală din punct de vedere al concentrației.

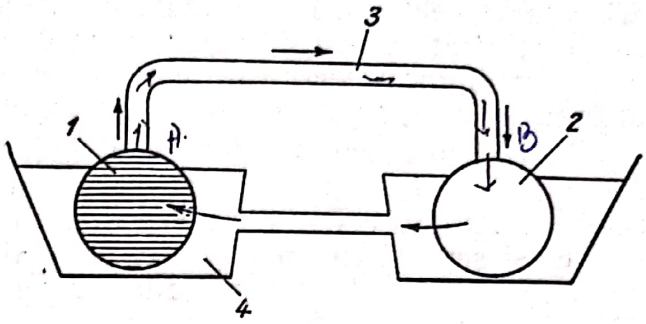


Fig. 103. Experiența cu bombele osmotice:
1 — soluția concentrată; *2* — apa distilată; *3* — tubul de legătură; *4* — vase cu apă

Această experiență, C. M ü n c h o transpune prin analogie cu cele ce se întîmplă în corpul plantei. Vasele de liber sînt implîntate cu capetele lor în punctele unde celulele parenchimatice au substanțe cu concentrații foarte diferite. În afară de aceasta, toate elementele anatomice ale plantei primesc apă, adică sînt hidratate direct sau indirect de către apa din vasele de lemn. Condiția principală pentru circulația substanțelor asimilate, în conformitate cu această ipoteză, o constituie diferența de presiune osmotică care determină curentul de translocație hidromotrică. Această diferență de concentrație este creată în primul rînd în interiorul celulelor parenchimatice ale frunzei. Aici cantitatea de substanțe asimilate crește, fapt care determină afluxul de apă din vasele de lemn. Substanțele pătrund în tuburile ciuruite unde se deplasează sub forma unui curent. La nivelul organelor ce consumă sau depozitează aceste substanțe, concentrația soluției scade, iar apa este presată și ajunge din nou în vasele de lemn.

Viteza de deplasare a curentului sub acțiunea forțelor hidromotrice este destul de mare. Valoarea acestei viteze este în funcție de diferența de concentrație a substanțelor solvite ce se găsesc la extremitățile tuburilor ciuruite. Ea nu depinde de loc de distanța străbătută, așa cum se întîmplă în cazul unei simple difuziuni. Partea principală pe care se bazează teoria lui Münch constă în admiterea următoarelor principii. Tuburile ciuruite trebuie să constituie un sistem continuu. M ü n c h îi atribuie acestui sistem noțiunea de simplast. Aceste căi de conducere trebuie să fie complet impermeabile pentru soluțiile solvite. Circulația substanțelor solvite se face din celulă în celulă prin plasmodesme. Substanțele circulă sub formă de molecule puternic hidratate, iar circulația lor din celulă în celulă, la nivelul tubului ciuruit, este ușurată prin curenții protoplasmatici. Prin urmare este vorba de o

Scanned with OKEN Scanner

difuziune accelerată. Deşi circulă la nivelul plasmodesmelor, Münch admite că nu se poate produce amestecul protoplasmei celulelor ce vin în contact în mod reciproc. In această privinţă, el admite existenţa unui schelet rigid al protoplasmei, fapt care constituie un punct slab al teoriei sale.

Privită în ansamblu, teoria lui Münch este bazată mai mult pe considerenţe teoretice decît pe date experimentale. Partea mai vulnerabilă a acestei ipoteze o constituie generalizarea circulaţiei substanţelor după unul şi acelaşi sens şi ruperea acestei circulaţii de aceea a apei. Münch nu explică felul cum are loc circulaţia la nivelul plăcilor ciuruite.

Teoria lui Münch, considerată mai mult ca o ipoteză, prezintă importanţă mai mult pentru faptul că încearcă să facă legătura între fenomene ce păreau pînă atunci fără explicaţie. Aşa este, de exemplu, aprovizionarea fructelor în timpul creşterii cu substanţe organice nutritive. Se ştie că fructele cărnoase sînt acoperite cu o cuticulă, aşa încît nu prezintă transpiraţie evidentă stomatică. Totuşi, după polimerizarea substanţelor solvite ajunse la nivelul celulelor din carnea fructului, apa trebuie evacuată din fruct. Conform cu ipoteza lui Münch, apa este presată şi eliminată în vasele de lemn care au rolul de a evacua apa din fruct.

Privită astăzi, în baza datelor obţinute cu ajutorul izotopilor radioactivi, ipoteza lui Münch prezintă numeroase părţi slabe. Pe de o parte avem premisele admise şi nedemonstrate pe cale experimentală, deşi ele constituie fundamentul însăşi al teoriei. Pe de altă parte s-a demonstrat că circulaţia prin tuburile ciuruite are loc simultan la unul şi acelaşi organ, după sensuri diferite.

In ultimul timp, ipoteza lui Münch este susţinută de către C. Krafts (1939) care aduce o serie de dovezi noi în favoarea circulaţiei substanţelor organice prin vacuola tuburilor ciuruite. După cum susţine autorul, tuburile ciuruite, după terminarea perioadei de creştere, devin perfect permeabile, şi deci substanţele organice pot trece uşor de-a lungul acestor tuburi.

După grupa a doua de ipoteze fac parte concepţiile bazate pe admiterea circulaţiei prin citoplasma tuburilor ciuruite.

F. Curtis (1935) emite ipoteza circulaţiei substanţelor organice prin difuzarea în interiorul protoplasmei tuburilor ciuruite. Această difuziune este accelerată datorită curenţilor din protoplasmă. T. G. Mason (1936) admite circulaţia prin protoplasmă accelerată de către metabolismul general al plantei.

Fiziologul A. Kursanov (1952) aduce numeroase dovezi experimentale în favoarea circulaţiei substanţelor organice prin citoplasma tuburilor ciuruite. Conform cu datele experimentale ale acestui autor, rezultă că procesul de circulaţie este un proces strîns legat de activitatea vitală a celulelor din întregul organism al plantei, precum şi de aceea a tuburilor ciuruite. Se constată că ţesutul liberian se caracterizează prin procesul de respiraţie foarte activ. In contact cu soluţia de zaharoză, respiraţia ţesutului se intensifică foarte mult. Din contră, vătămările produc oprirea circulaţiei la nivelul acestui ţesut.

Circulaţia substanţelor organice se face polar. Această circulaţie polară are loc datorită fenomenului de adsorbţie. Sensul polar al circulaţiei este

Scanned with OKEN Scanner

legat de circulația polară a substanțelor stimulatoare de creștere. Viteza de circulație este foarte mare, deoarece substanțele circulă sub formă de ioni. În cursul adsorbției, ionii trec cu viteze mari de pe o moleculă pe alta a protoplasmei vii, fapt care aduce întrucîtva cu trecerea curentului electric.

Datele mai recente arată că glucidele pot trece sub formă ionizată datorită esterificării lor cu acidul fosforic. În felul acesta, autorul stabilește o legătură între procesele biochimice de la nivelul tuburilor ciuruite și circulația substanțelor organice.

Un mare ajutor pentru studierea circulației substanțelor organice îl dau indicatorii, care însă trebuie aleși într-un mod just. Dintre indicatorii cei mai utilizați sînt fluoresceina care se acumulează în celulele tinere. Fosforul radioactiv a arătat că circulația substanțelor organice are loc în ambele sensuri, în mod simultan. De asemenea s-a putut determina viteza de circulație, și anume de 80 cm pe oră. Carbonul radioactiv a subliniat circulația substanțelor prin floemul țesutului conducător. Se mai pot folosi virusurile, acizii organici și vitaminele ca: tiamina, riboflavina și acidul panthotheic.

C. PROCESELE BIOCHIMICE DIN CURSUL COACERII FRUCTELOR ȘI A SEMINȚELOR

1. Coacerea semințelor și a fructelor

După fecundarea oosferei se constată o creștere activă a peretelui ce formează ovarul. Această creștere, care are loc sub influența auxinelor emise de către oosfera fecundată, constă din mărirea în dimensiuni a celulelor și depozitarea de substanțe de rezervă la nivelul țesuturilor. După încetarea creșterii urmează coacerea (maturarea) fructului, care constă din transformări biochimice caracteristice. Paralel cu creșterea ovarului are loc procesul de creștere a semințelor și de maturizare a semințelor, care, după felul rezervelor ce predomină, sînt: amidonoase, oleaginoase sau albuminoase.

Pentru a urmări procesele biochimice în legătură cu coacerea semințelor amidonoase, se face apel la analizele făcute la boabele de grîu în diferite faze de coacere (tabelul 30).

Tabelul 30

Greutatea a 100 boabe de grîu (în g) în diferite faze de coacere

Faza de coacere	Greutatea boabelor	Substanța uscată	Apa
1. Maturitatea în lapte	5,89	2,86	3,03
2. Maturitatea de ceară	7,23	3,58	3,65
3. Maturitatea în pîrgă	5,65	4,19	1,46
4. Maturitatea deplină	4,59	4,22	0,37

Scanned with OKEN Scanner

După cum rezultă din acest tabel, în cursul coacerii semințelor, substanța uscată crește cantitativ, iar apa scade. Greutatea boabelor la început crește, dar spre sfîrșitul maturității scade datorită micșorării cantității de apă. Cea mai mare parte din substanța uscată o constituie rezervele acumulate în albumen. Analizele cantitative arată transformările prin care trec substanțele organice care ajung la nivelul seminței și se depozitează în mod treptat (tabelul 31).

Tabelul 31

Transformarea substanțelor glucidice în cursul coacerii boabelor de grîu

Faza de coacere	Amidon, în %	Fructoză, în %	Zaharoză, în %
1. Maturitatea în lapte	27,9	13,6	12,2
2. Maturitatea de ceară	48,9	6,1	8,6
3. Maturitatea în pîrgă	54,2	2,7	5,8
4. Maturitatea deplină	64,3	—	urme

Din acest tabel rezultă că la începutul coacerii boabelor, cantitatea de amidon este mică. Totuși, prezența amidonului, precum și cantitatea relativ mică a zaharurilor solubile arată faptul că în boabe are loc un proces de sinteză destul de intens.

În faza de maturitate în lapte, în bob se află o cantitate de apă destul de mare, iar cantitatea de amidon este mică. Ca urmare, dacă se strivește bobul între degete, apare sucul celular în care se găsesc grăunciorii de amidon și care dau acestui suc un aspect lăptos. De aici vine și denumirea fazei de maturitate în lapte. Pe măsură ce cantitatea de amidon crește, cantitatea de zaharuri solubile devine din ce în ce mai mică. Acest lucru demonstrează procesele de sinteză, care devin din ce în ce mai intense. În concluzie, se poate spune că în cazul coacerii semințelor, procesele biochimice ce au loc sînt complet opuse acelora ce au loc în momentul germinației.

Substanțele proteice se acumulează și în cazul boabelor de grîu, dar la unele specii, cum sînt boabele de leguminoase, ele se acumulează în cantități mai mari. Și în cazul acestor semințe, procesele ce au loc la coacere sînt inverse proceselor ce decurg în timpul germinației acestor semințe. Substanțele proteice, sub formă de acizi aminici, amide, ca asparagina și glutamina, sosind în țesuturile de rezervă, se transformă prin polimerizare în substanțe proteice cu molecula complexă.

Substanțele grase se acumulează la un număr foarte mare de specii. Ele există și în semințele de cereale, de exemplu la embrionul de porumb, care conține o cantitate mare de ulei. Totuși, pentru a urmări transformările biochimice prin care trec aceste substanțe în timpul coacerii, se folosesc semințele mai tipice, adică acelea ce conțin cantități mari de lipide.

Datele din tabelul 32 (rezultate ale analizelor făcute la semințele de alune de pădure — *Corylus avellana*), arată că la începutul coacerii se acumulează în semințe amidon în urma polimerizării zaharurilor solubile.

Scanned with OKEN Scanner

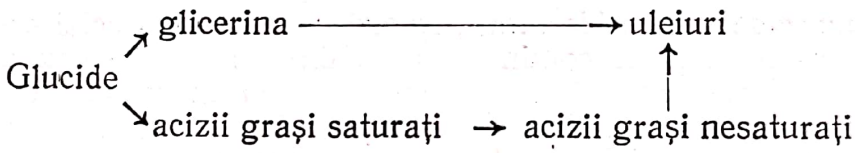
Acest lucru se explică prin necesitatea înlăturării creşterii presiunii osmotice din celulele în spre care sosesc cantităţi noi de zaharuri. Ceva mai tîrziu, cantitatea de amidon scade, în schimb cantitatea de ulei creşte.

Tabelul 32

Rezultatul analizelor la seminţele de alune de pădure

Data luării probelor	Amidon şi dextrine, în %	Zaharoza, în %	Glucoza, în %	Ulei, în %
a. 6 iulie	21,8	—	7'6	3,0
b. 1 august	14,5	0,5	2,4	16,0
c. 15 august	3,2	0,6	—	42,0
d. 1 septembrie	2,6	0,8	—	59,0
e. 4 octombrie	2,6	1,6	—	62,0

S. L. Ivanov, studiind transformările substanţelor lipidice în timpul coacerii seminţelor, dă următoarea schemă a acestor transformări:



În cursul coacerii seminţelor se acumulează elemente minerale ca: fosfor, magneziu ş.a. Aceste elemente intră în combinaţii organice complexe ca: fitina, fosfatina şi alţi diferiţi lipoizi.

Coacerea fructelor are loc în mod paralel cu coacerea seminţelor. S-a constatat că în cazul cînd într-una din lojele ovarului, ovulele nu se dezvoltă, peretele corespunzător al ovarului rămîne în urmă cu creşterea, iar fructele apar asimetrice. Fructele se împart în grupuri mari ca: fructe cu peretele ovarului uscat şi fructe cu peretele ovarului cărnos. În ambele cazuri, rolul fructului se reduce la acela de a favoriza răspîndirea seminţelor. Fructele cărnoase, deşi conţin cantităţi mari de substanţe organice acumulate, acestea nu sînt folosite de loc de către seminţe.

Ele constituie partea de atracţie pentru animale, iar după consumarea fructelor, seminţele sînt împrăştiate în mediu.

Din punct de vedere agricol, fructele constituie unul dintre produsele cele mai importante. Ca urmare, procesele biochimice legate de coacerea fructelor trebuie cunoscute pentru a putea fi dirijate în vederea obţinerii unei recolte bune.

În cursul formării şi coacerii fructelor cărnoase, ele trec printr-o serie de modificări anatomo-morfologice şi biochimice. După procesul de fecundare a oosferei, ovarele încep să crească. Dar nu toate ovarele care au legat dau naştere la fructe. O bună parte din fructele mici, verzi cad. Chiar dacă condiţiile mediului sînt favorabile, căderea unei părţi din fructe are loc datorită unui proces denumit *autorărire*. Această cădere se explică prin insuficienţa substanţelor nutritive, substanţe care sînt

necesare pentru creşterea acestor fructe. Deoarece această cădere este un fenomen normal, ea poartă numele de cădere fiziologică. În cazul cînd căderea fructelor are loc şi mai tîrziu, mai ales în condiţiile unui an secetos, atunci este vorba de o cădere anormală, care impune luarea de măsuri agrotehnice respective. Printre aceste măsuri se impune în primul rînd irigatul, introducerea de îngrăşăminte suplimentare în sol sau nutriţia extraradiculară. Se mai poate favoriza menţinerea unui mare număr de fructe prin stropiri cu substanţe stimulatoare de creştere. În acest caz se impune asigurarea unei nutriţii minerale cît mai normale a pomilor. În caz contrar, numărul mare de fructe legate va epuiza pomul, şi acesta va pieri în cursul anotimpului nefavorabil.

În timpul creşterii fructelor se constată modificarea formei lor. Din colţuroase, ele devin sferice, iar la sfîrşitul maturităţii capătă forma caracteristică soiului. Determinarea varietăţilor de fructe se face numai la maturitatea lor deplină. Fructele verzi sînt tari. Aceasta se datoreşte celulelor în stare de creştere, care sînt mici şi strîns alipite între ele, aşa încît nu lasă meaturi.

Din punct de vedere biochimic, fructele verzi conţin acizi organici care le dau un gust acid. Ele conţin taninuri, din care cauză sînt astringente. Ca substanţe de rezervă, ele conţin amidonul, şi ca urmare nu sînt dulci. O dată cu maturizarea, în fructe au loc o serie de reacţii de transformare a acestor substanţe. Acizii şi substanţele tanante sînt consumate în cursul respiraţiei. Amidonul se transformă în mod treptat pînă la zaharuri. Mersul proceselor de transformare a substanţelor ce se acumulează în fructe reiese din tabelul 33.

Tabelul 33

Modificarea compoziţiei fructelor de Parmen auriu în cursul coacerii

Data luării probelor	Greutatea unui fruct, în g	Apa, în %	Acizii, în %	Amidon, în %	Zaharuri, în %
a. 14 iulie	41,6	82,85	0,82	3,81	7,41
b. 2 august	66,6	85,3	0,42	3,09	7,89
c. 15 august	80,0	86,7	0,34	2,05	8,23
d. 14 septembrie	106,8	84,25	0,34	1,11	9,76
e. 19 octombrie (cules)	103,0	—	—	1,34	10,70

Din datele acestui tabel se constată că pe măsura scăderii cantităţii de amidon, cantitatea de zaharuri creşte. Prin urmare, amidonul din fructe este tranzitoriu. El se acumulează în cursul migraţiei glucidelor, în timpul cînd fructele cresc. O dată cu maturizarea, amidonul este hidrolizat, iar zaharurile rezultate se acumulează în vacuola celulelor. Presiunea vacuolei, crescînd, face ca apa să fie atrasă, fapt care duce la creşterea volumului celulelor. Acestea, devenind din ce în ce mai turgescente, suferă presiunea internă sub acţiunea căreia încep să se rotunjească. Lamela mediană, la început formată din substanţe pectice, în mod treptat se solubilizează datorită procesului de hidroliză a substanţelor pectice. Mersul hidrolizei se poate urmări din tabelul 34.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 34

Transformarea substanţelor pectice în cursul coacerii merelor Wagner

Data luării probelor	Substanţe pectice insolubile, în %	Substanţe pectice solubile, în %
a. 14 iulie	1,21	43,3
b. 1 august	1,23	60,9
c. 5 septembrie	1,27	77,1
d. 15 septembrie	1,13	76,1

Această hidroliză are loc sub acţiunea protopectinazei. Procesele de solubilizare a pectinelor fac ca celulele pulpei să apară din ce în ce mai slab unite între ele. Datorită presiunii de turgescenţă, celulele se rotunjesc, iar ţesutul devine mai moale, mai afînat.

În timpul păstrării fructelor, procesele de hidroliză continuă. S-a constatat că la soiurile cu durata de păstrare mică, procesele de hidroliză încep mai devreme şi se desfăşoară cu o intensitate mai mare. Ca urmare, în timpul păstrării încep curînd procesele de autoliză, adică de supracoacere. În timpul păstrării se observă o activitate deosebit de mare şi a fermenţilor proteolitici, a căror activitate intensă duce la alterarea fructelor.

În unele cazuri însă, procesele de coacere trebuie accelerate, mai ales la fructele la care condiţiile anotimpului respectiv nu au permis procesul de maturaţie normală. Astfel, fructele suculente de lămîi, roşii etc. pot fi culese în stare aproape verde, şi apoi supuse tratării pentru a stimula procesele de coacere. Substanţa cea mai des folosită este etilenul.

Pentru tratare, fructele se introduc în spaţii închise, în care se menţine umiditatea de 70—80%. Se calculează o cantitate de etilen, după cubajul spaţiului în care se face tratarea. Temperatura camerei trebuie să fie de 18—21 °C. După 2—3 zile fructele se coc. Acţiunea fiziologică a etilenului constă în creşterea permeabilităţii protoplasmei. Oxigenul începe să pătrundă mai uşor în celule, mărind astfel intensitatea proceselor de schimb, adică a diferitelor reacţii biochimice la nivelul fructului.

Cercetările făcute au arătat că etilenul se formează şi în cazuri normale, cînd fructele se coc în natură. Etilenul deci, apare ca un fitohormon ce se găseşte în mod obişnuit în fructe.

În interiorul fructelor supramaturate, seminţele se găsesc aprovizionate bine cu apă şi cu oxigen. Totuşi, aceste seminţe nu germinează. La unele specii de plante, acest lucru se explică prin starea fiziologică a seminţelor. Astfel, la pere, mere ş.a., seminţele scoase din fructe absolut coapte au nevoie de un interval de timp în care au loc procesele de postmaturaţie. În timpul acestor procese, unele seminţe au nevoie de acţiunea temperaturilor scăzute, din care cauză se supun procedeului numit stratificare. După unii cercetători, acest interval de timp ar putea fi asemuit cu stadiul de iarovizare prin care trec cerealele de toamnă.

La speciile de plante cu fructe suculente, cum sînt pepenii, bostanul ş.a., semintele nu pot germina în interiorul fructului datorită faptului că pulpa acestuia, dar mai ales placenta conţin substanţe inhibitoare pentru

germinația semințelor. Cît timp semințele rămîn legate de pulpa fructului, ele nu pot germina. O dată cu desprinderea lor de placentă, ele germinează chiar în interiorul fructului. Așa se explică cazurile cînd fructele de bostan conțin uneori semințe încolțite mai ales către primăvară.

2. Legătura dintre compoziția chimică a fructelor și a semințelor și factorii climaterici

O scurtă privire aruncată asupra hărții de răspîndire a vegetației globului reliefează faptul că există o legătură foarte strînsă între plante și clima regiunii respective. În țări cu clima tropicală, de exemplu Brazilia, există 40 000 de specii, în timp ce pe un teritoriu atît de vast, cum este tundra din U.R.S.S., există numai 200—300 de specii.

Dar clima influențează nu numai numărul de specii ce pot trăi într-o regiune. Ea are o mare influență și asupra proprietăților biochimice ale speciilor. O climă secetoasă imprimă caractere speciale, printre care și elaborarea de substanțe caracteristice, cum sînt uleiurile eterice la unele labiate ce apără planta împotriva pierderii apei. Clima dulce, maritimă, favorizează acumularea de amidon, și în general de glucide la nivelul rădăcinilor, al tuberculelor și al fructelor.

Din contră, condițiile unei clime continentale favorizează predominarea depozitării de substanțe proteice. Clima continentală favorizează formarea de alcaloizi. Astfel, *Aconitum napellus,* cunoscut prin alcaloidul foarte toxic aconitina, își schimbă mult compoziția biochimică în legătură cu regiunea climaterică. În Europa Centrală, planta produce acest alcaloid și este foarte toxic. În regiunile nordice, cu o climă rece, planta pierde această proprietate. Arborele de chinină nu produce alcaloidul chinina în cursul perioadelor ploioase ale anului. În condiții de umiditate mai mare, uleiurile formate se caracterizează prin predominarea acizilor grași nesaturați. Acest fel de uleiuri sînt sicative. În regiunile cu clima secetoasă, se formează uleiuri cu o proporție mare de acizi grași saturați. Acest fel de uleiuri sînt nesicative.

Ca urmare a celor arătate mai sus, A. Șișkin (1942) arată că: „Botaniștii sistematicieni trebuie să indice familiile și genurile de plante care formează substanțele utile, iar agronomii, și mai ales acei care lucrează în domeniul fitotehniei trebuie să cunoască în ce regiuni ale țării urmează a fi cultivate plantele pentru a produce aceste substanțe în cantitate maximă".

Legătura între biochimismul plantei și condițiile climaterice apare și mai evidentă în cazul plantelor cultivate. Se știe mai de mult că una și aceeași specie, cultivată în condiții de climă diferite, poate da produse complet deosebite din punct de vedere calitativ. În această privință se pot cita exemple de la noi din țară. Astfel sînt renumiții pepeni de la Rădășeni, nucii din Ardeal etc. Această legătură între compoziția biochimică a produselor agricole și clima regiunii respective, fiind studiată mai profund, poate fi folosită în scopul obținerii de produse cît mai valoroase.

În legătură cu cele de mai sus apare problema dacă există anumite reguli după care planta reacționează la condițiile climaterice date, reguli

Scanned with OKEN Scanner

care, fiind cunoscute, să fie folosite în practica de toate zilele. Cele mai multe încercări s-au făcut cu soiurile de grîu. S-a constatat că asupra compoziției chimice a boabelor de grîu influențează mult temperatura, precum și cantitatea de precipitații. Determinările făcute arată că mersul acumulării substanțelor proteice decurge paralel cu creșterea temperaturii. În regiunile secetoase, cu climă continentală, vara se constată că bobul de grîu conține o mai mare cantitate de substanțe proteice în raport cu substanțele glucidice. Creșterea cantității de precipitații influențează compoziția boabelor în sens invers, adică în sensul creșterii cantității de amidon.

Rezultă deci că migrația substanțelor proteice din corpul plantei este perturbată puțin de către temperatura ridicată. Din contră, substanțele glucidice, amidonul, se acumulează în cantitate mai mică. În afară de aceasta, dintre glucidele solubile ce parvin la nivelul țesuturilor din bob numai o parte se transformă pînă la amidon. O bună parte din aceste glucide se polimerizează numai pînă la dextrine. Acestea cimentează grăunciorii de amidon și dau bobului un aspect sticlos. Polimerizarea glucidelor simple numai pînă la dextrine se explică prin cantitatea insuficientă a apei, care determină activitatea de sinteză mai slabă a fermenților din bob.

În regiunile cu precipitații bogate și cu climă mai răcoroasă, amidonul se acumulează în cantitate mai mare, iar substanțele proteice apar, în raport cu cele glucidice, în cantitate mai mică. Datorită acestei situații, grîul din regiunile secetoase, conținînd un procent mai mare de gluten, este foarte căutat pentru fabricarea pastelor făinoase. Analizele arată că în regiunile cu climă umedă procentul de gluten este de 10, iar în regiunile secetoase, el ajunge pînă la peste 20. Acest raport între amidon și substanțele proteice este deosebit de important și pentru cultura orzului.

Orzul cel mai bun pentru bere se obține în regiunile cu climă maritimă, mai umedă și mai rece. În cazul țării noastre, acest fel de orz se obține în părțile apropiate de munți. În ce privește porumbul, compoziția chimică a boabelor variază mult în legătură cu soiul și foarte puțin în legătură cu clima. Sfecla de zahăr, înaintînd spre o climă mai umedă, dă recolte mai mari și cu un procent de zahăr mai mare. Cartoful, în regiunile cu temperatură ridicată, dă recolte nesatisfăcătoare și de calitate inferioară. În țările tropicale se cultivă cartoful dulce sau *Ipomaea batatas,* care este adaptat la temperatură ridicată.

Se constată că există o legătură tot așa de strînsă între compoziția fructelor și a legumelor și influența altitudinii ca și în cazul factorilor meteorologici. Altitudinea influențează mersul înfloritului și al coacerii fructelor, întîrziindu-le. Deseori altitudinea mai mare poate determina întîrzierea coacerii fructelor cu 2—3 săptămîni. Acest lucru este foarte important pentru fructele cu perioada de coacere scurtă, pentru soiurile timpurii. Ea asigură posibilitatea aprovizionării cu fructe a centrelor de consum pe un interval de timp mai îndelungat. Altitudinea mai mare creează o microclimă deosebită de cea de la șes, fapt care imprimă modificarea și a compoziției chimice a produselor, cum sînt fructele cărnoase și legumele. În general, la fructele cărnoase, cum sînt bacele, paralel cu creșterea altitudinii crește aciditatea, pe cînd cantitatea de zaharuri rămîne aceeași. Deci fructele zemoase, cum sînt strugurii, coacăzele etc., sînt mai acre în regiunile

Scanned with OKEN Scanner

cu altitudini mai mari. La varză, spanac și salată s-a remarcat, la o altitudine de 3 860 m, o cantitate de vitamina C de 2—3 ori mai mare, în comparație cu plantele crescute la șes.

În cazul uneia și aceleiași regiuni, condițiile meteorologice ale anului influențează și ele compoziție chimică a fructelor.

În timpul verilor mai reci, mai ploioase, cantitatea de zaharuri din fructe este mai mică, fructele sînt mai puțin aromate și au un gust inferior fructelor din cursul verilor mai calde. Acest fapt poate fi ilustrat prin datele tabelului 35.

Tabelul 35

Variația compoziției chimice a fructelor de prun

Soiul	Condițiile meteorologice ale anului	Zaharuri, în %	Aciditatea, în %
Renglote	vară caldă	10,25	1,10
Renglote	vară rece	8,93	1,32

La vița de vie se constată același fenomen. În cursul verilor reci, procentul de zaharuri este mai mic, iar aciditatea este mai crescută. Fructele de tomate, în cursul verilor reci și ploioase, conțin un procent mai mic de substanță uscată. De asemenea, în acest fel de condiții scade și procentul de zaharuri, iar gustul tomatelor este inferior. Există și soiuri care se caracterizează printr-o constanță destul de mare în ce privește compoziția fructelor. Ele reacționează slab la variația factorilor meteorologici.

Din cele expuse mai sus rezultă că anual trebuie analizată calitatea produselor obținute, pentru a se apropia de standard. În cazul acesta se cere ca raionarea culturilor să conlucreze cu serviciul meteorologic foarte bine organizat.

BIBLIOGRAFIE

1. Afanasieva, M., *Peredvijenie pitatelinîh vescestv o rastenii,* Leningrad, 1955.
2. Chirilei, H., *Contribution à l'étude cytologique et histochimique des pigments flavoniques contenus dans le vacuome des cellules épidermiques des fleurs et feuilles des végétaux supérieurs,* București, Acad. R.P.R., 1949 (teză de doctorat).
3. Lundegärdh, H., *Pflanzenphysiologie,* Jena, Veb Gustav Fischer, 1960.
4. Mihăilescu, I. Gr., *Cercetări asupra rolului fiziologic al nervațiunii de la frunzele plantelor verzi,* București, 1933.
5. Pop, E., Peterfi, Șt., Sălăgeanu, N. și Chirilei, H., *Manual de fiziologia plantelor,* București, E.S.D.P., vol. I, 1957 ; vol. II, 1960.
6. Prianisnikov, D. N., *Azot v jizni rastenii i zemledelii,* Izd-vo AN. SSSR, 1945.
7. Prokofiev, A. A., *Klimat i produktivnosti rastenii,* Moscova, Izd-vo, Znania, 1956.
8. Sarapov, N. I., *Zakonomernosti himizma rastenii,* Moscova, Izd-vo AN. SSSR., 1962.
9. Teodorescu Em. și Popescu, C. T., *Sur le tissu libérien et son rol dans la circulation des substances organiques chez les végétaux supérieurs,* în „Annales scientifiques de l'Université de Jassy", Iași, 1915, t. IX.

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul VII

CREȘTEREA ȘI MIȘCĂRILE PLANTELOR

A. CREȘTEREA PLANTELOR

1. Introducere

Creșterea este un proces caracteristic pentru organismele vii. În procesul de creștere iau naștere diferitele organe, la început de dimensiuni mici, care treptat ating mărimea maximă, cînd și capacitatea funcțională este maximă.

Organele și țesuturile sînt alcătuite din celule. De aceea creșterea lor constă din înmulțirea, alungirea și diferențierea celulelor.

Prin creștere se produce o mărime ireversibilă a dimensiunilor organelor. O simplă absorbție de apă prin osmoză sau îmbibiție nu este un proces de creștere.

Construirea de noi celule se face prin consum de substanțe organice și de energie. Procesul se observă mai bine la germinația semințelor. La semințe, substanțele de rezervă sînt concentrate în endosperm sau în cotiledoane. De aceea în cursul germinației volumul endospermului și al cotiledoanelor scade, iar volumul restului embrionului crește.

Prin creșterea organelor rudimentare, embrionul se transformă într-o plantulă care are frunze, tulpină și rădăcină, pe deplin formate, capabile de o activitate fiziologică normală și independentă, adică tînăra plantă absoarbe prin rădăcină apa și sărurile minerale, iar în frunzele verzi iau naștere prin fotosinteză substanțele organice.

Întreg acest proces de creștere are ca punct de plecare celulele meristematice ale embrionului, care au luat naștere prin diviziune celulară. Dintr-o celulă au luat naștere două celule care cresc pînă la dimensiunile celulei mamă, cînd fiecare se divide din nou în alte două celule. Astfel iau naștere organele „rudimentare" ale embrionului încă în perioada cînd sămînța se găsește pe planta mamă. La germinația semințelor, celulele embrionului suferă un proces nou, nu se mai divid, ci își măresc foarte mult volumul prin formarea unei vacuole centrale și prin creșterea pereților celulari. După acest proces de alungire a celulelor are loc diferențierea lor, după care

Scanned with OKEN Scanner

celulele își termină creșterea, iar țesutul alcătuit din aceste celule devine un țesut definitiv. Țesuturile definitive îndeplinesc diferite procese fiziologice ca : fotosinteza în frunză, circulația apei în țesuturile conducătoare etc.

Creșterea noilor organe ale plantei, care nu au existat în sămînță, se realizează în același fel, în anumite zone de creștere, unde se găsesc țesuturi meristematice. Astfel de zone întîlnim în mugurele terminal, în mugurii laterali, în vîrfurile rădăcinilor sau la baza internodiilor la graminee. Ele asigură creșterea în înălțime și formarea de noi organe. Creșterea în grosime a tulpinii și rădăcinii se realizează prin activitatea cambiului și a suberofelodermului.

În zonele de creștere, cele trei faze ale creșterii — diviziunea celulară, alungirea celulelor și diferențierea celulelor — sînt clar localizate și se pot evidenția cu ușurință.

2. Etapele și zonele creșterii

În procesul de creștere se pot distinge trei etape care se succed și sînt localizate în diferite părți ale organelor în creștere. Cazul cel mai tipic este vîrful vegetativ al rădăcinii sau al tulpinii. În vîrful rădăcinii, sub scufița de protecție (piloriza) se găsesc celule tipice meristematice. Aceste celule sînt în continuă diviziune. Celulele fiice își formează protoplasmă nouă din substanțe nutritive, și cînd au ajuns la mărimea celulelor mamă, se divid din nou. Această etapă de creștere se numește etapa embrionară și constă din diviziunea celulelor și sinteza protoplasmei. La rădăcină, zona meristematică este de cîțiva mm. În continuare, se găsește zona de întindere unde are loc a doua etapă a creșterii, numită etapă de întindere și care are o lungime de mai mulți milimetri, circa 1 cm. În această etapă, celulele nu se mai înmulțesc, sinteza protoplasmei se face într-un ritm mai moderat și apar vacuole care devin tot mai mari, pînă se contopesc într-o singură vacuolă centrală. Dimensiunile celulei cresc de mai multe ori (pînă la 10 ori), mai ales în lungime, de unde provine și denumirea de etapă de întindere (fig. 104).

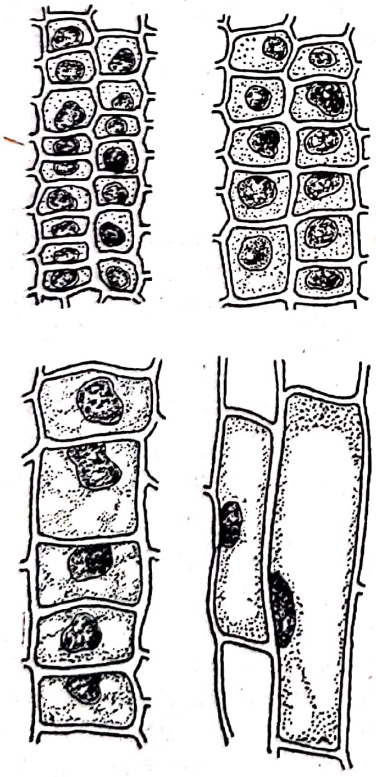


Fig. 104. Alungirea celulelor în etapa a doua de creștere

Creșterea celulelor se face, pe de o parte, pe seama acumulării de apă în vacuole, iar pe de altă parte, prin întinderea membranei celulare.

După zona de întindere urmează zona de diferențiere, în care are loc a treia etapă de creștere, denumită etapă de diferențiere, în care celulele se specializează și iau naștere țesuturile. În această etapă, celulele nu mai cresc în dimensiune, au loc doar transformări în interiorul celulei. În cazul țesuturilor mecanice, se îngroașă

mult membrana celulară, care uneori umple complet lumenul celulei, și protoplasma dispare (vasele lemnoase, sclerenchimul).

Cele trei zone de creștere se pot pune ușor în evidență prin procedeul semnelor cu tuș. Dacă însemnăm o rădăcină cu tuș la distanță de 1 mm începînd de la vîrf, după 24 de ore se constată că milimetrii însemnați nu au crescut la fel (fig. 105).

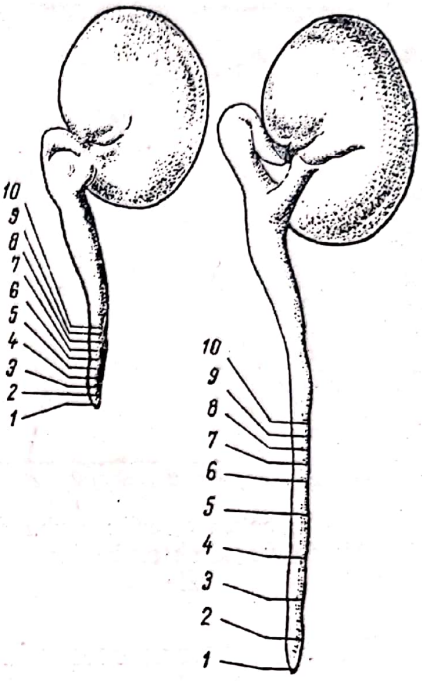


Fig. 105. Zona de creștere a rădăcinii

Primul milimetru nu a crescut de loc; al doilea, al treilea, pînă la al cincilea au crescut mai mult, iar restul de milimetri din ce în ce mai puțin. Deci, creșterea este limitată la o porțiune de aproximativ 1 cm. Analiza anatomică ne arată că în primul milimetru este zona de creștere embrionară, care rămîne staționară ca lungime. Sub acest milimetru începe zona de întindere, unde primii milimetri cresc foarte repede.

Pentru a urmări ritmul creșterii, se notează unul din milimetrii dinspre vîrf și se măsoară mai multe zile la rînd. La fasole s-au găsit următoarele valori (tabelul 36):

După cum se observă, la început porțiunea crește încet, atinge maximum în a treia zi, maxim care se menține timp de trei zile, după care ritmul de creștere începe să scadă. Dacă reprezentăm grafic această variație,

Tabelul 36

Ritmul de creștere al rădăcinii la fasole

Zile	1	2	3		5	6	7	8
Lungimea	2,8	6,5	24	40,5	57,5	72	70	79
Spor zilnic	1,8	3,7	17,5	16,5	17	14,5	7	0

se obține o curbă optimală, iar pentru sporul zilnic o curbă în formă de S (fig. 106). Rezultă că creșterea este limitată în timp la o perioadă denumită *perioada mare de creștere*. Ea se datorește ritmului diferit de creștere. Meristemul terminal, prin diviziune, dă naștere spre bază la celule noi, care, după o perioadă de repaus relativ, încep să se întindă la început mai încet, apoi foarte repede, pentru ca spre sfîrșit, ritmul să scadă, și la terminarea procesului de întindere să înceteze creșterea în lungime. Această perioadă mare de creștere o întîlnim la toate organele în creștere, putînd fi considerată ca o lege a creșterii. Au existat și încercări de a formula matematic această lege, însă nici una din aceste încercări nu s-a dovedit pînă astăzi suficient de bine documentată.

Avînd o zonă scurtă de creștere, rădăcina poate străbate ușor prin pămînt, ceea ce este o însușire importantă pentru nutriția plantei. Cea mai

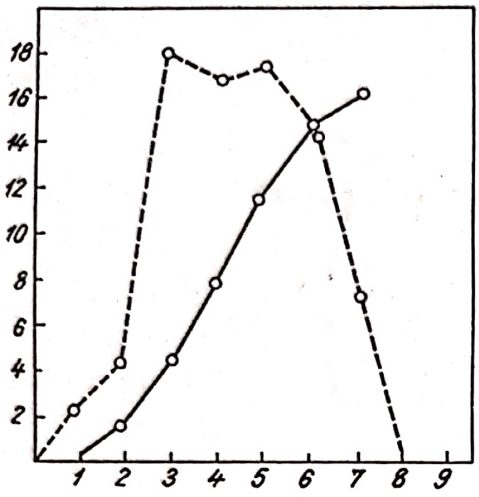


Fig. 106. Curbele creşterii : curba sporului zilnic de creştere ; curba lungimii totale

bună dovadă că aceasta este o adaptare se vede din faptul că rădăcinile aeriene ale epifitelor, care au o altă funcţie, au o zonă de creştere pînă la un metru.

La tulpină, zona de creştere este mai mare, de aproximativ 10 cm ; la tulpinile articulate rămîn zone active în fiecare internodiu (cazul de la graminee).

Atît la rădăcină, cît şi la tulpină, zona de creştere în lungime este sub terminală ; la graminee există şi o creştere *intercalară*. Spre deosebire de aceste organe, frunza are o creştere *bazală*, adică zona de creştere se găseşte la baza frunzei ; de aceea, frunza este un organ cu creştere limitată. Spre deosebire de frunză, peţiolul creşte uniform în toată lungimea sa.

Viteza creşterii este mică, şi numai în cazuri excepţionale atinge valori mai mari, vizibile cu ochiul liber. Astfel sînt staminele la graminee (secară), care cresc cu o viteză de 1,8 mm pe minut, paiul de bambus — cu 0,4 mm, iar unii sporangiofori la ciuperci — cu 5 mm.

3. Mecanismul creşterii

In etapa embrionară, mecanismul creşterii constă în sinteze superioare care se termină cu formarea protoplasmei şi a membranei, fiind însoţit de o respiraţie intensă.

Formarea protoplasmei aminteşte întrucîtva „înmulţirea virusului". Virusul este alcătuit dintr-o substanţă proteică, complexă, care ia naştere prin distrugerea proteinelor substratului pe care trăieşte şi resintetizarea (din aminoacizi) a moleculei proteice proprii.

In mod asemănător are loc, în etapa embrionară, sinteza protoplasmei care este alcătuită în primul rînd din proteine. Ca substanţe iniţiale se folosesc glucidele, grăsimile, aminoacizii şi alte substanţe. In această sinteză sînt necesare enzime, vitamine şi substanţe speciale care stimulează creşterea, cunoscute sub numele de bios.

Cercetări noi au arătat că în sinteza proteinelor protoplasmei joacă un rol deosebit acidul ribonucleic concentrat în ribozomi.

In etapa a doua, mecanismul întinderii celulelor poate să fie explicat în două moduri. In primul caz, presiunea osmotică crescînd mult, se măreşte corespunzător şi presiunea de turgescenţă. Sub această presiune, membrana celulară se extinde dincolo de limita întinderii elastice, se rupe, iar în locurile de ruptură din protoplasmă se introduc noi micele de celuloză. Procesul este asemănător cu formarea celulei artificiale a lui Traube. Această explicaţie a creşterii în etapa de întindere, care cucerise teren, este astăzi părăsită, deoarece măsurători precise au arătat că presiunea osmotică în zona

de întindere nu este mai mare decît în celalalte zone, iar în unele cazuri este chiar mai mică.

A doua explicație, general acceptată, se bazează pe constatarea că membrana celulară în această zonă este mai plastică și nu opune presiunii de turgescență o rezistență elastică. Deci membrana se poate extinde la presiunea osmotică obișnuită. Această explicație este susținută și de faptul că membrana celulară, la începutul procesului de întindere, se subțiază. La sfîrșitul creșterii prin întindere, membrana are însă aceeași grosime și structură, deoarece se formează noi fibrile micelare celulozice și substanță nouă intermicelară.

Din cele arătate rezultă că membrana celulară din zona de întindere este mai plastică. Această plasticitate se reduce mult spre sfîrșitul zonei de întindere.

Celulele, în zona de întindere, mai au și alte cîteva particularități. Permeabilitatea protoplasmei pentru apă este mai mare, ceea ce este necesar în această zonă, unde în celulă intră cantități mari de apă și unde creșterea se face în primul rînd prin mărirea volumului vacuolei.

În zona de întindere, nivelul respirației se menține ridicat, deși nu are valoarea din zona embrionară, unde procesele sintetice sînt deosebit de active. Respirația este necesară pentru sinteza substanțelor din care este formată membrana celulară, precum și pentru sinteza de protoplasmă, care are loc și în această zonă. Energia este necesară, de asemenea, pentru reglarea proceselor osmotice.

În zona de întindere, plasma este mai vîscoasă, și sucul celular are o aciditate mai mare. Aciditatea mai mare mărește capacitatea de imbibiție a substanței intermicelare din membrană, ceea ce ușurează alungirea celulelor.

4. Substanțele care stimulează procesul de creștere

Se cunosc în prezent cinci grupe de substanțe cu acțiune stimulatoare (sau inhibitoare) în procesul de creștere: biosul, auxinele, giberelinele, chinetinele și inhibitorii.

Biosul cuprinde cîteva vitamine și joacă un rol în sinteza protoplasmei, deci în prima etapă a creșterii.

Auxinele sînt cele mai bine studiate, și acțiunea lor cuprinde toate fazele de creștere; în prima fază acționează sinergic cu biosul și chinetina, iar în faza a treia acționează împreună cu substanțe încă necunoscute.

Acțiunea giberelinelor este strîns legată de aceea a auxinelor, deși există și acțiuni specifice giberelinelor.

Chinetina și chininele influențează diviziunea celulară în prezența auxinelor.

Acțiunea inhibitorilor este mai puțin cunoscută, dar prezența lor în diferite organe a fost bine dovedită.

Procesul de creștere este rezultatul acțiunii complexe dintre diferitele grupe de stimulatori și inhibitori. Raportul dintre aceste substanțe deter-

Scanned with OKEN Scanner

mină direcția, intensitatea și calitatea metabolismului în zonele meristematice. La rîndul lor, schimbările care se produc în metabolism se manifestă în intensitatea și ritmul creșterii, în apariția diferitelor organe, în forma și mărimea lor.

a) *Acțiunea stimulatorilor din grupa bios.* După cum s-a văzut în capitolul privitor la etapele de creștere, în faza embrionară sînt necesare o serie de substanțe cunoscute sub denumirea generală de bios. Una din cele mai importante substanțe din această grupă este aneurina (tiamina, vit. B_1) necesară în special la creșterea rădăcinilor. Dacă se fac culturi de țesuturi din vîrful rădăcinii de mazăre sau de tomate, acestea reușesc dacă în mediul nutritiv există săruri minerale și zahăr. Dacă din vîrful acestei rădăcini noi se face o nouă cultură de țesuturi pe același mediu nutritiv, creșterea este mai slabă, iar dacă se repetă, creșterea nu mai are loc. Rezultă că lipsește o substanță care a existat la început la prima cultură, dar care s-a consumat în următoarele culturi. Dacă în mediul nutritiv se adaugă puțin extract de drojdie, creșterea continuă normal. White a obținut în aceste condiții pînă la 246 de asemenea „generații" de rădăcini. Experiența reușește tot așa de bine dacă se adaugă aneurină. Cantitatea de aneurină necesară este foarte mică : o parte de aneurină la 100 milioane părți de soluție. Un gram de aneurină ajunge pentru 2 000 kg de rădăcină.

Aneurina se sintetizează în frunze mature, și de aici ajunge în celelalte părți ale plantei, circulînd în special prin liber.

Pînă acum s-a identificat aneurină în muguri, în cotiledoane, flori, polen, ovare și în semințe. La cereale se găsește în stratul aleuronic din sămînță. Sub formă de ester cu acidul pirofosforic se transformă în cocarboxilază. Joacă deci rol în metabolismul glucidelor.

Din punct de vedere chimic, aneurina, este formată dintr-un inel pirimidinic și unul tiazolic.

Plantele verzi, precum și unele plante inferioare fără clorofilă, cum este *Aspergillus,* sînt capabile să sintetizeze aneurina. Omul și animalele trebuie să primească această vitamină o dată cu hrana. Unele plante inferioare nu sînt capabile să sintetizeze decît unul din componenți. Astfel, *Phytophthora fagopyri* sintetizează numai tiazolul și este heterotrofă pentru pirimidină, iar *Mucor ramanianus* nu sintetizează tiazol.

Din grupa bios mai fac parte acidul pantotemic, mezoinozita, biotina, acidul nicotinic și piridoxina (vit. B_6). Menționăm că sub numele de bios, la început, se înțelegea numai mezoinozita, biotina, acidul pantotemic și aneurina. Necesitatea acestora s-a constatat la rasele de drojdii de cultură, care și-au pierdut capacitatea de sinteză pentru aceste substanțe. De aceea, pentru înmulțirea lor în mediu nutritiv trebuie să se adauge și aceste substanțe. Cea mai activă s-a dovedit biotina, însă acțiunea maximă se obține dacă sînt prezente toate patru substanțele. Cantități mari din aceste substanțe se găsesc în semințe și în grăunciorii de polen. La graminee se găsesc răspîndite în special în stratul aleuronic, iar la mazăre în cotiledoane. De asemenea se găsesc răspîndite în cambiu și muguri. Dacă se îndepărtează cotiledoanele la mazăre, embrionul crește numai dacă se adaugă biotină în concentrație de 1/125 000 000.

Scanned with OKEN Scanner

În ultimul timp, la grupa biosului s-au adăugat noi substanțe active. Astfel este acidul nicotinic, care formează gruparea prostetică a unei dehidraze active în procesul fermentației alcoolice. Acidul nicotinic este necesar pentru formarea rădăcinii la mazăre și stimulează formarea rădăcinilor la tomate. Este răspîndit în frunze, semințe și în alte organe.

O altă vitamină necesară pentru creștere este vitamina C (acidul ascorbic). Plantele de mazăre, fără cotiledoane, au crescut mai bine dacă pe lîngă zahăr și săruri minerale au primit și vitamina C. În privința formării acestei vitamine, se pare că ia naștere din zaharoză. Rolul ei ar consta în transformarea formei „legate" a auxinei în formă „liberă".

Acidul ascorbic participă în procesele de oxido-reducere. În cantitate mare se găsește în fructe, în special cireșe, ardei, tomate, lămîi. În organele subterane se găsește numai în tuberculele de cartof. Se formează în special la lumină și în celulele cu clorofilă, probabil chiar în cloroplaste.

În ce privește vitamina B_6 (piridoxina), are acțiune stimulatoare la tomate și morcovi în creșterea rădăcinilor.

În afară de substanțele amintite mai există o serie întreagă de substanțe care sînt necesare în cantități mici și stimulează creșterea, cum este cazul „hormonilor" traumatici.

„Hormonii" traumatici au fost descoperiți de Haberlandt în procesul de formare a suberului secundar la suprafața rănilor, în special la cartofi și gulie. Haberlandt a arătat că suberul secundar, care cicatrizează rana, se formează din celulele nevătămate prin diviziunea lor sub acțiunea „hormonilor" traumatici care iau naștere în celulele rănite de la suprafață. În prezent s-a identificat un acid traumatic cu formula următoare:

$$HOOC—CH=CH—(CH_2)_8—COOH,$$

care a fost și sintetizat.

b) *Auxinele și acțiunea lor.* Primele dovezi despre existența auxinelor au fost aduse de către Darwin prin experiențele sale în legătură cu mișcările fototropice. Cercetări ulterioare (ale lui Rothert, Boysen-Jensen, Paal, Söding, Holodnîi etc.) au dovedit că în vîrful coleoptilului ia naștere o substanță (denumită de către Paal „hormon vegetal") care se deplasează spre baza coleoptilului și stimulează creșterea (alungirea celulelor). Schematic, acțiunea este prezentată în fig. 107. S-a mai constatat că această substanță poa-

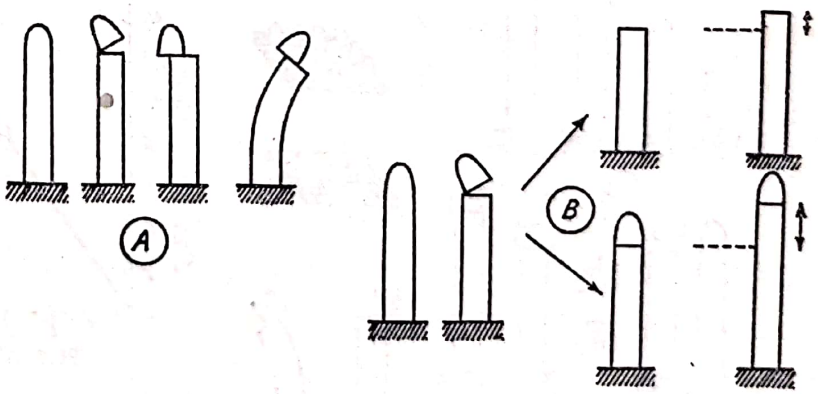


Fig. 107. Experiențe care permit punerea în evidență a hormonilor de creștere:

A — decapitarea coleoptilului și așezarea excentrică a vîrfului duce la curbarea coleoptilului (*dreapta*); *B* — coleoptilul decapitat nu mai crește decît pe seama rezervei de auxine (*sus*), în timp ce prin alipirea vîrfului, creșterea continuă (*jos*)

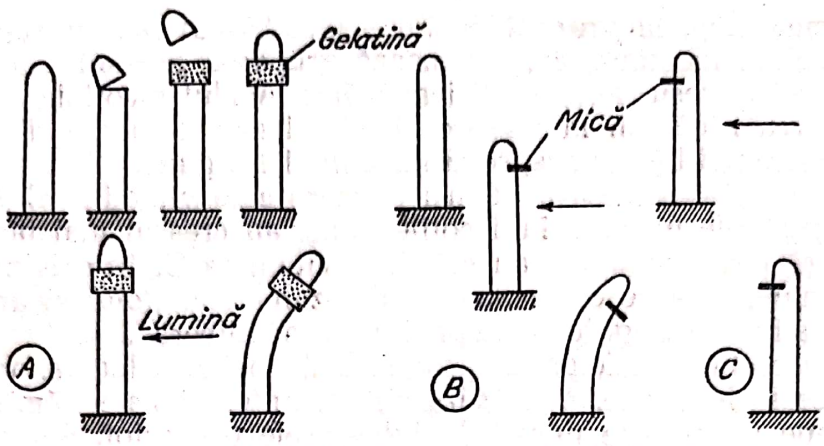


Fig. 108. Cercetări fototropice asupra coleoptilelor de ovăz:
A — introducerea unui strat de gelatină între coleoptil și vîrful decapitat nu împiedică curbura fototropică; *B* — introducerea unei plăci de mică în partea luminată nu împiedică curbura fototropică; *C* — plăcuțe de mică introduse în partea umbrită împiedică curbura fototropică

te difuza printr-un strat de gelatină. Dacă vîrful de coleoptil se așază numai pe jumătate din secțiunea de tăiere, se produce o curbură întocmai ca în cazul fototropismului (fig. 108).

Un rol deosebit au avut cercetările lui Went, care a elaborat o metodă de captare a auxinei din vîrfurile coleoptilelor, în cuburi mici de agar. Din aceste cuburi, auxina poate difuza din nou în coleoptilele decapitate. Dacă cuburile mici de agar sînt așezate pe toată suprafața secțiunii de tăiere, coleoptilul crește uniform, iar dacă sînt așezate unilateral se produce o curbură (fig. 109).

Prin lucrările sale, Went aduce dovada definitivă despre existența auxinei în vîrful coleoptilului, despre circulația bazipetală și despre acțiunea stimulatoare a acestei substanțe în procesul de creștere.

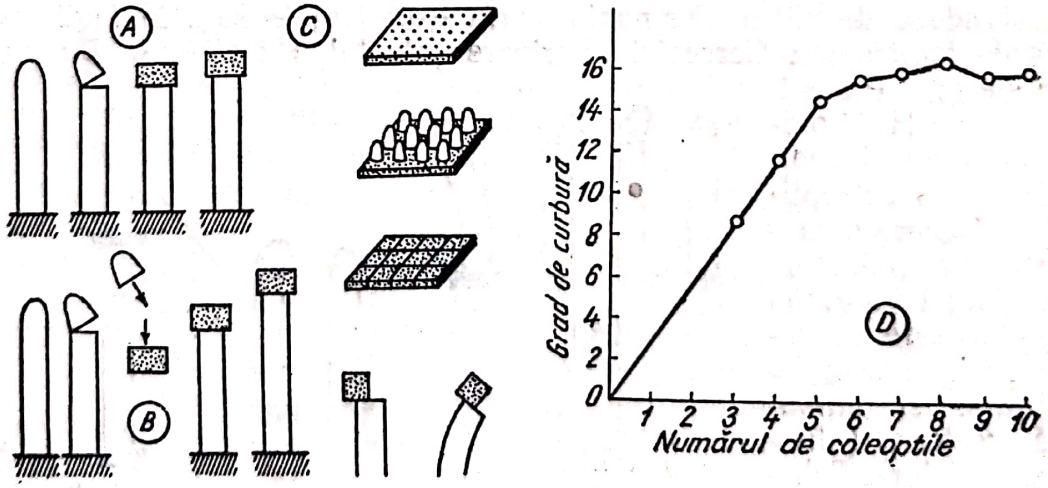


Fig. 109. Extragerea auxinei și demonstrarea acțiunii sale (după Went):
A — cubul de agar în locul vîrfului coleoptilului nu influențează creșterea; *B* — cubul de agar pe care a stat vîrful coleoptilului favorizează creșterea; *C* — extragerea auxinelor din vîrful de coleoptil; așezarea unui cub de agar cu auxină provoacă curbura coleoptilului (*jos*); *D* — mărirea numărului de coleoptile pe același cub de agar determină o curbură mai pronunțată.

Lucrările sale au avut însă și o mare importanță metodică. Captarea auxinelor în cuburi de agar a devenit o metodă practică pentru studiul răspîndirii auxinei în diferite organe vegetale. W e n t a elaborat și o metodă de apreciere a cantității de auxină dintr-un țesut sau organ vegetal. Această metodă este cunoscută sub denumirea de testul *Avena*.

Metoda constă în decapitarea coleoptilelor de ovăz (soiul Victoria) cînd au o lungime de 15 mm. Decapitarea se face la 4—5 mm de la vîrf, după care frunza interioară este trasă în sus, astfel ca să depășească marginea coleoptilului decapitat cu cîțiva mm. De această frunzuliță se lipesc, prin intermediul unei picături de gelatină, cuburile de agar în care a difuzat auxină, din diferite țesuturi. După 1½—2 ore, se examinează coleoptilele și se măsoară gradul lor de curbură. O curbură de 10° la 22—23 °C și la 92% umiditate relativă a aerului indică o cantitate de auxină egală cu o unitate *Avena*.

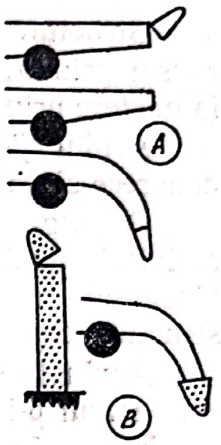


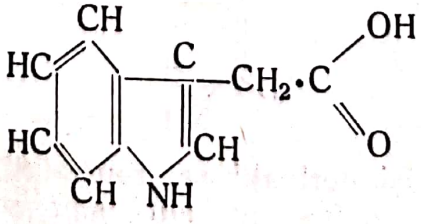
Fig. 110. Experiența lui H o l o d n î i cu coleoptile de ovăz: *A* — decapitarea rădăcinii împiedică geotropismul; *B* — curbura geotropică a rădăcinii se poate provoca cu vîrf de coleoptil

O contribuție deosebit de importantă în cunoașterea naturii și răspîndirii auxinei în diferite organe ale plantei au adus experiențele lui H o l o d n î i. El a dovedit că decapitapitarea vîrfului rădăcinii duce la dispariția sensibilității geotropice, adică rădăcina așezată orizontal nu se curbează în jos. Această sensibilitate se restabilește dacă vîrful decapitat este așezat la loc. Dacă în locul vîrfului de rădăcină se pune un vîrf de coleoptil, rădăcina se va curba în jos. În această experiență, H o l o d n î i dovedește că atît în vîrful coleoptilului, cît și în vîrful rădăcinii ia naștere aceeași substanță, cu rol în creștere — auxină (fig. 110).

Cu ajutorul testului *Avena*, precum și prin diferite procedee de extragere și cromotografiere s-a dovedit că auxina este răspîndită în toate organele plantei, dar în cantități diferite. În cantități mari se găsește întotdeauna în zonele de creștere.

c) *Natura chimică a auxinei și derivaților ei.* Analizele chimice completate de teste biologice au stabilit că auxina activă în procesele de creștere este acidul β — indolilacetic (AIA). În plantă se găsesc mai mulți derivați ai acestei substanțe ca aldehida β-amidolacetică și β-indolnitrilul, dar care nu sînt activi. Ei reprezintă substanțe precursoare, adică prin transformarea lor dau naștere la AIA.

Constituția chimică a substanței AIA s-a stabilit încă în 1904. Formula de structură a lui AIA este:

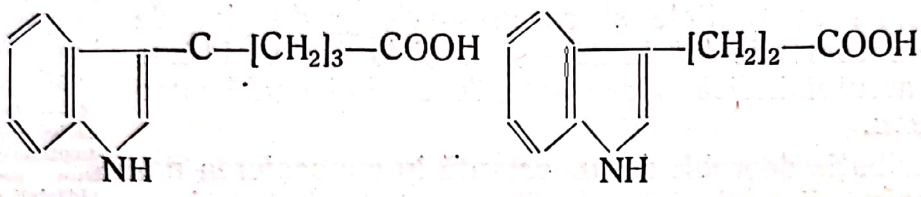


Structura chimică a acidului AIA și a derivațiilor săi indică ca precursor primar, pentru toate aceste substanțe, aminoacidul triptofan, din care ia naștere prin dezaminare oxidativă.

Acidul β-indolilacetic (AIA) și derivații săi sînt auxine naturale, deoarece sînt sintetizate în corpul plantelor.

Pe lîngă aceste substanțe s-au descoperit numeroase substanțe care au activitate auxinică, adică au o activitate fiziologică asemănătoare lui AIA. Unele din acestea s-au dovedit chiar mai active decît AIA. În privința structurii chimice, aceste substanțe prezintă o mare variabilitate.

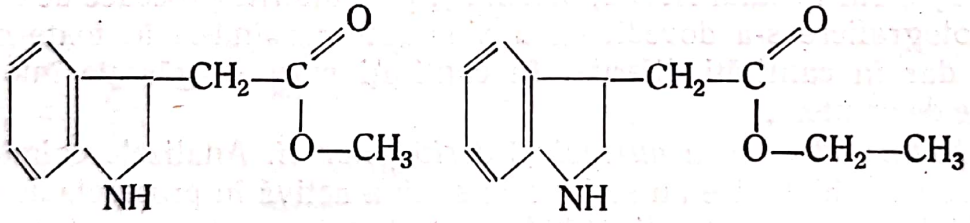
Auxinele sintetice aparțin la diferite grupe de substanțe. Prima grupă este acidul β-indolilacetic. Menționăm acidul β-indolilbutiric și β-indolilpropionic.



I II

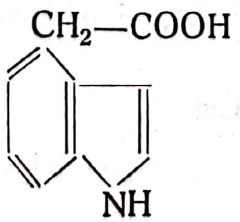
Toți derivații lui AIA sînt mai puțin activi, iar unii sînt inactivi.

S-a constatat că lungimea catenei laterale are importanță pentru activitatea auxinică. Dacă această catenă este prea scurtă, ca la indol, activitatea este nulă. Alungirea catenei laterale aduce cu sine o activitate auxinică mai mare, fără să ajungă intensitatea lui AIA. Fac excepție esterul metilic (I) și etilic (II) ai acidului β-indolilacetic, care sînt de 30 de ori mai activi decît acidul.



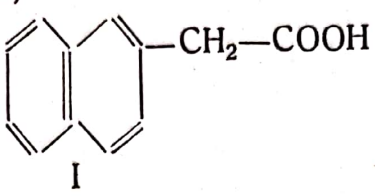
I II

Poziția catenei laterale influențează mult activitatea substanței. Astfel, acidul indolil — 4 acetic are o activitate mult mai slabă decît AIA.

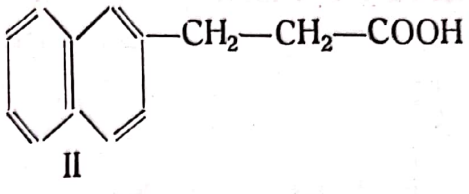


Acidul α-naftilacetic și derivații săi reprezintă a doua grupă de auxine sintetice. Cele mai active substanțe sînt acidul α-naftilacetic (I),

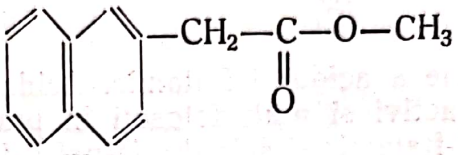
α-naftilpropionic (II), α-naftilbutiric și esterul metilic al acidului α-naftil-acetic (III).



I

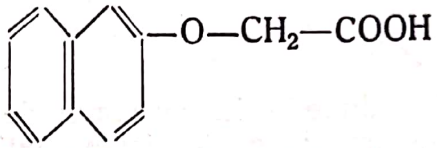


II

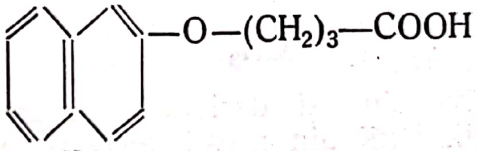


III

Grupa a treia cuprinde substanțe mult utilizate în practica agricolă. Este reprezentată de acidul naftoxiacetic și derivații săi. Există două serii : alfa și beta. Cea mai activă este seria beta. Cele mai active substanțe sînt acidul beta naftoxiacetic (I) și beta naftoxibutiric (II). Dacă ciclul conține clor, substanța este mai activă.

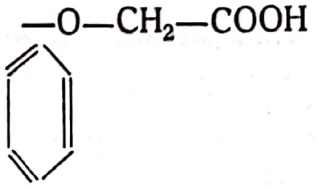


I



II

A patra grupă este reprezentată de acidul fenoxiacetic și derivații săi, cuprinzînd cele mai importante ierbicide de natură auxinică.



Prezența clorului în nucleu mărește și în acest caz mult activitatea substanțelor. Multe din aceste substanțe sînt mai active decît AIA, după cum se vede din tabelul 37.

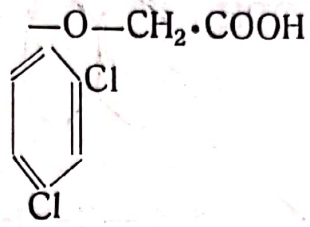
Tabelul 37

Activitatea relativă a cîtorva derivați ai acidului fenoxiacetic
(după Pillet)

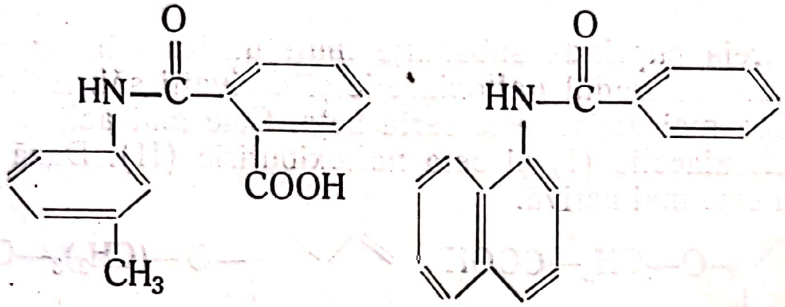
Substanța	Activitatea
Acid betaindolil acetic	100
Acid fenoxiacetic	0
Acid 2-clorfenoxiacetic	4
Acid 4-clorfenoxiacetic	200
Acid 2,4 diclorfenoxiacetic	800—1 200
Acid 2,4,5 triclorfenoxiacetic	500
Acid 2,3,4,6 tetraclorfenoxiacetic	1

Scanned with OKEN Scanner

Acidul 2, 4-D dă naștere la o serie de derivați (săruri de natriu și NH_4, (esteri cu grupe amino) care sînt foarte activi.



A cincea grupă este a acidului ftalamic. Acidul în sine nu este activ, dar derivații săi sînt activi și mult folosoți în practică. Menționăm derivații acidului meta-tolil-ftalamic și acidul alfa-naftil-ftalamic.



Activi sînt și derivații substanței N-dimetil-ditiocarbamat de S-carboximetil. Unii din acești derivați au importanță ca ierbicide. Activitatea acestor derivați depinde de radicalul substanței.

Activitatea fiziologică a auxinelor naturale ca și artificiale este dată de catena laterală, la care se adaugă obligatoriu și o altă condiție: nucleul să aibă cel puțin o legătură dublă.

d) *Forma „liberă" și forma „legată" a auxinei.* Prin forma „liberă" se înțelege auxina naturală, activă în procesul de creștere. Ea se găsește în combinație cu un substrat proteinic, și numai în această stare este activ. Este forma care difuzează în cuburi de agar sau se extrage printr-un procedeu simplu — de scurtă durată.

Auxina „legată" se află într-un complex cu un edificiu mai complicat și nu este activă. Se extrage prin metode mai energice, din care se desface acest complex.

Forma „legată" se transformă pe cale enzimatică în formă „liberă", în zonele de creștere. Forma „legată" reprezintă o rezervă de auxină și se găsește în muguri, tubercule, cambiu, ovar etc. În aceste organe și țesuturi se activează în procesul de creștere (desmugurire, încolțirea cartofilor) sau sub acțiunea auxinei „libere" din alte organe (auxinele aduse de polen în ovar sau de la mugurii în creștere), în celulele cambiului. În lăstarii înfrunziți, activarea auxinelor se face în frunzele tinere, în cazul coleoptilelor, în vîrful lor.

În cazul frunzelor tinere, auxina ia naștere pe toată suprafața lor. Această capacitate scade repede cu vîrsta.

În mugurii florali există cantități mari de auxină pînă cînd floarea ajunge la jumătate din dezvoltarea sa. În floarea matură, multă auxină se găsește în stamine.

În ovar, în momentul fecundării nu se găsește auxină „liberă". După fecundare, ovula sintetizează abundent auxină, care difuzează în pereții ovarului și determină creșterea pericarpului. O dată cu formarea seminței, încetează sinteza de auxină și fructul atinge dimensiunea maximă.

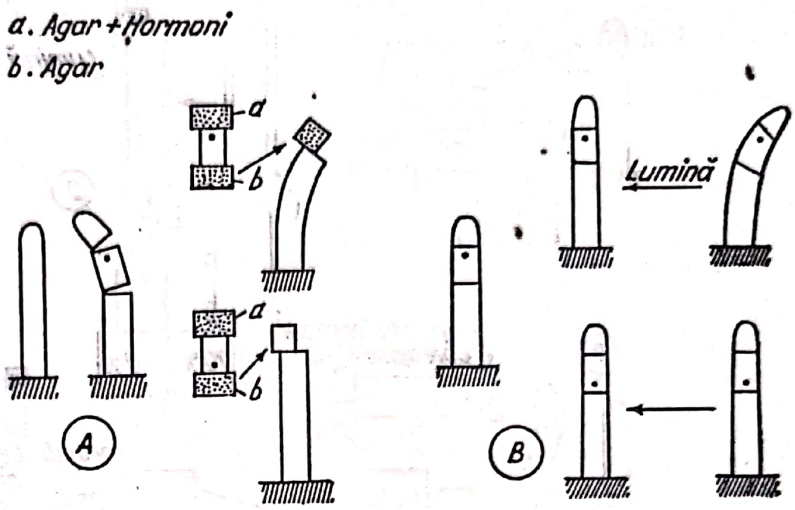


Fig. 111. Schema transportului polar al auxinelor: *A* — segmentul separat asigură transportul numai în poziție normală; *B* — aceeași acțiune se observă și în cazul fototropismului

La rădăcini, auxina „liberă" se formează în vîrful organului și, întocmai ca la coleoptil, circulă spre baza rădăcinii, pînă în zona perilor radiculari. Dincolo de această zonă circulă un curent de sens contrar, care stimulează activitatea cambiului, deci creșterea în grosime.

e) *Circulația auxinelor.* Circulația auxinelor are unele particularități care stau la baza acțiunii acestor substanțe în procese ca polaritatea regenerării, corelații, fototropism, geotropism etc.

În coleoptile s-a stabilit o viteză de 12 mm pe oră, ceea ce dovedește că circulația auxinelor nu este o simplă difuzie. Auxinele circulă numai în țesuturi vii, active (eterul oprește circulația). De la un organ la altul, auxinele circulă prin vasele liberiene. Circulația este favorizată de aerație și de prezența glucidelor, în special a zaharozei.

La coleoptile, tulpini, frunze și rădăcini s-a dovedit că auxina are o circulație polară, de la vîrful morfologic spre baza morfologică a organului. Această circulație polară se dovedește ușor prin captarea auxinelor în agar, de la fracțiuni de coleoptil (fig. 111).

La organele în creștere (tulpină sau rădăcini), așezate în poziție orizontală sau iluminate unilateral, auxinele au și o circulație transversală. La organele așezate orizontal, auxinele se acumulează în partea de jos a organului, iar la organele iluminate unilateral, se acumulează în partea umbrită (fig. 112).

Circulația polară și transversală a auxinelor se poate explica prin teoria electrică. Diferența de potențial electric între vîrf (minus) și bază (plus), sau între cele două părți ale organului în poziția orizontală, sau între partea expusă la lumină și partea umbrită este cauza circulației auxinei, care se comportă ca un anion.

f) *Acțiunea auxinei asupra componenților celulari* și *diferitelor procese fiziologice. Membrana celulară* este alcătuită din *membrană primară* și *membrană secundară.* Celula în creștere are numai membrană primară. În

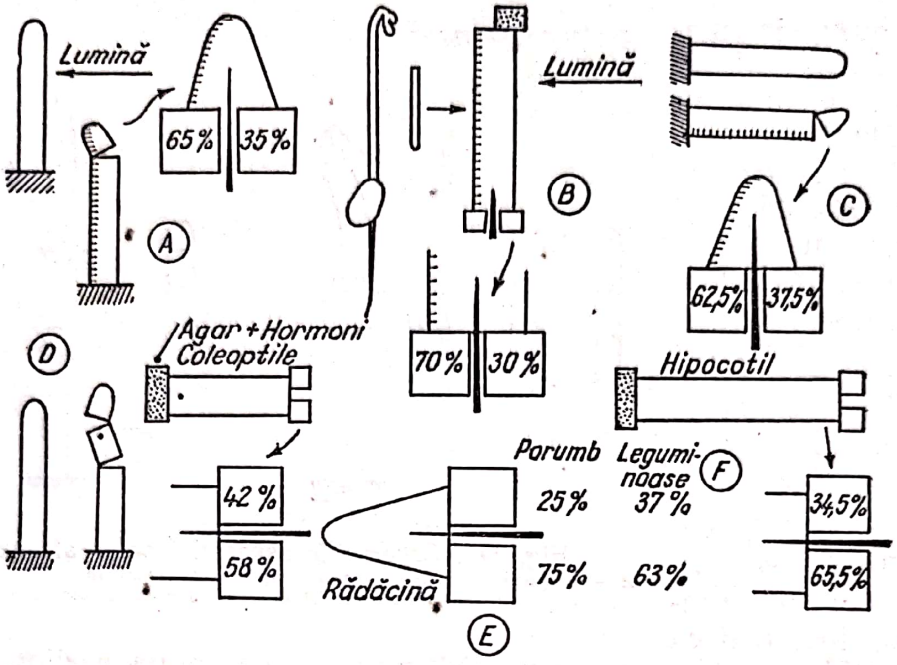


Fig. 112. Circulația transversală a auxinelor la fototropism *(A, B)* și geotropism *(C, D, E, F)*

procesul de alungire, această membrană primară crește superficial, păstrînd aceeași grosime. După ce încetează alungirea, apare membrana secundară, care crește în grosime.

Membrana primară este alcătuită din substanțe pectice, hemiceluloză, celuloză și substanțe neglucidice (tabelul 38).

Tabelul 38

Compoziția chimică a pereților celulari la coleoptilele de porumb

Substanța mg/coleoptil	Lungimea, în mm		
	9	32	55
Pectine	0,052	0,272	0,580
Hemiceluloze	0;231	0,973	1,371
Celuloze	0,191	0,930	1,616
Zaharuri	1,016	2,651	5,704
Lipide	0,040	0 701	0,975
Proteine	0,510	1,018	1,631
Cenușă	0,160	0,300	0,444
Total :	2,200	6,845	12,312

Substanțele pectice constituie o fază continuă, cele celulozice o fază discontinuă (vezi fig. 11, cap. I).

Auxina are acțiune asupra substanțelor pectice, metilînd grupările carboxilice unite prin punți de calciu. Prin aceasta se mărește plasticitatea membranelor care se întind sub forța presiunii de turgescență.

Scanned with OKEN Scanner

Auxina acționează deci prin intermediul metabolismului, acțiunea sa primară fiind asupra protoplasmei și numai secundar asupra membranei celulare.

S-a stabilit că auxina influențează activitatea fermenților pectin-metil-esteraza și poligalacturonaza, și deci prin intermediul acestora, influențează și incorporarea de substanțe noi în pereții celulari.

În prezență de AIA crește cantitatea de substanțe în pereții celulari, în special pectina și hemicelulozele (tabelul 39).

Tabelul 39

Compoziția pereților celulari (coleoptile de mazăre) în prezența sau lipsa lui AIA (1 mg/l)

	Pectină	Hemiceluloză	Celuloză	Substanțe solubile în eter	Proteine	Total
Valori inițiale	5,2	10,7	7,0	0,3	3,4	26,6
Valori finale (după 24 h) :						
— martor	5,1	11,8	8,0	0,3	4,4	29,6
— tratat	5,5	12,6	9,1	0,2	4,3	31,7

Aceste modificări au ca efect final creșterea plasticității membranei.

Nucleul. Auxinele influențează proliferarea celulelor, deci diviziunea celulară. Această acțiune a fost dovedită în mod direct la alge și la cambiu (în special în culturi de țesuturi). Această acțiune este pusă în legătură cu acizii nucleici, deoarece prin tratarea țesuturilor cu AIA, crește cantitatea de acizi nucleici. Rezultate asemănătoare s-au obținut la țesuturi de mădură de tutun și la tulpină. S-a constatat că bazele purinice și pirimidinice sînt factori hotărîtori pentru creșterea mugurilor.

Regimul de apă celular. Sub acțiunea auxinelor, în celule pătrunde mai multă apă. Modul în care auxinele influențează intrarea apei în celulă nu este încă definitiv elucidat. S-a constatat că intrarea apei este condiționată de o bună aerisire, și procesul poate fi conceput după schema următoare: auxinele intensifică respirația, crește absorbția de săruri, pătrunde apă mai multă, crește volumul celulei.

Se admite și posibilitatea că AIA mărește capacitatea de fixare a ionilor de calciu de către acizii ribonucleici. Acești ioni de calciu sînt luați din membrana primară de la substanțele pectice. Prin aceasta se schimbă natura chimică și fizică a membranei celulare.

Din cele arătate rezultă că auxinele acționează direct asupra protoplasmei, și această acțiune are ca efect modificarea însușirilor chimice și fizice ale membranei celulare.

Respirația. În concentrații mici, AIA stimulează absorbția oxigenului, în concentrații mari o reduce.

Această influență este însă indirectă, ceea ce rezultă din faptul că auxinele stimulează mai mult creșterea decît respirația.

Scanned with OKEN Scanner

Folosind substanțe care inhibă respirația, se constată că scade intensitatea respirației și creșterii. Deci cele două procese sînt strîns legate între ele. Relația între aceste două procese se face prin intermediul procesului de fosforilare. S-a constatat că auxinele măresc procentul de fosfor anorganic care provine din transformarea lui ATP în ADP.

Acțiuni morfogenetice. Administrate exogen, auxinele produc deformațiuni canceroase la rădăcini, modifică forma frunzelor, determină fasciația axelor florale, modifică structura florii, staminele și carpelele se transformă în frunze, se formează rădăcini adventive etc.

Aceste anomalii apar cînd conținutul în auxină este supraoptimal sau în exces.

Auxinele joacă rol și în procese organogenetice normale.

În privința germinației semințelor și repausului seminal, rezultatele obținute pînă în prezent sînt contradictorii.

Bine dovedit este rolul auxinelor în formarea rădăcinilor („rizogeneză"). Auxinele stimulează diviziunea celulelor periciclului din care iau naștere noi rădăcini. În acest proces, pe lîngă auxine mai sînt necesare glucide și biotină în cantități optime. Acțiunea acestor substanțe a fost identificată prin aplicarea lor exogen. Studiul variațiilor concentrațiilor de auxină endogenă arată însă același mers al procesului de rizogeneză. Procesul are loc în felul următor: rădăcina principală crește intens pînă la o anumită mărime, după care creșterea încetează. În continuare apar rădăcini secundare. Variația concentrației de auxină corespunde acestei evoluții. La început concentrația este optimă pentru creșterea rădăcinii, apoi scade sub limita optimă și devine stimulatoare pentru rădăcinile secundare.

Starea de repaus a mugurilor este determinată de un exces de auxină și de acumulare de inhibitori. La sfîrșitul stării de repaus, cantitatea acestor substanțe se reduce pînă la un nivel favorabil creșterii.

Dominanța apicală a mugurelui terminal, în creștere, asupra mugurilor laterali ai lăstarului se datorește concentrației supraoptimale de auxină în zona mugurilor laterali. Această auxină este produsă în vîrful terminal.

Deși rolul auxinelor în procesul înfloritului nu este pe deplin elucidat, auxinele participă în toate fazele acestui proces. Trecerea la înflorit a plantelor este însoțită de o scădere a conținutului în auxine. După formarea primordiilor florale, conținutul în auxine crește și stimulează creșterea organelor florale. Stimularea înfloritului la ananas cu auxine artificiale (ANA) constă în stimularea creșterii organelor florale rudimentare.

In procesul de fructificare, auxinele sînt active în toate fazele: la germinația grăuncioarelor de polen, în creșterea tuburilor polinici, creșterea pereților ovarului, a părților seminței.

Nivelul auxinelor în pețiol sau pedunculul floral determină căderea frunzelor sau a fructelor. S-a constatat că acest proces este precedat de o scădere bruscă a concentrației de auxine.

Ridicînd artificial acest nivel, prin aplicații de auxine artificiale, căderea frunzelor și fructelor este mult întîrziată.

Scanned with OKEN Scanner

g) *Aplicațiile practice ale auxinelor*. Descoperirea auxinelor artificiale și cunoașterea tot mai profundă a acțiunii fiziologice a auxinelor au creat posibilitatea pentru aplicarea practică a acestor substanțe.

Sub formă de soluție, pudră sau amestec de lanolină, în funcție de doza folosită, auxinele stimulează sau inhibă (întîrzie sau exclud) anumite procese fiziologice sau au o acțiune toxică. Ele au acțiune stimulatoare (heteroauxina) în concentrațiile de 3.10^{-3} —3.10^{-8} — (tulpină), de 3.10^{-9} —3.10^{-11} (rădăcini) și 3.10^{-5} – 3.10^{-8} (muguri). Concentrațiile mai mari sînt toxice.

Stimulînd activitatea periciclului sau cambiului la butași sau marcote se formează rădăcini adventive (fig. 113). Succesul tratamentului depinde de prezența zaharurilor, de aceea la butașii verzi sînt necesare frunzele. Acestea se pot înlocui cu o soluție de zaharoză și $SO_4(NH_4)_2$. Raportul între aceste două substanțe trebuie să fie în favoarea zaharozei (40 : 1).

Un alt factor necesar și care provine din frunze este arginina.

Cu cît butașul este mai verde, se ține mai puțin în soluție și cu cît soluția este mai concentrată, cu atît se reduce timpul tratamentului (de la cîteva ore la cîteva secunde).

Prin tratarea butașilor cu auxine se obține o înrădăcinare mai rapidă, un sistem radicular mai voluminos și mai ramificat. Temperatura optimă este de 20—25 °C. Temperaturile joase împiedică formarea rădăcinilor.

O altă aplicație este întîrzierea deschiderii mugurilor și încolțirii cartofilor. Mugurii se tratează după formarea lor în timpul verii. La cartofi,

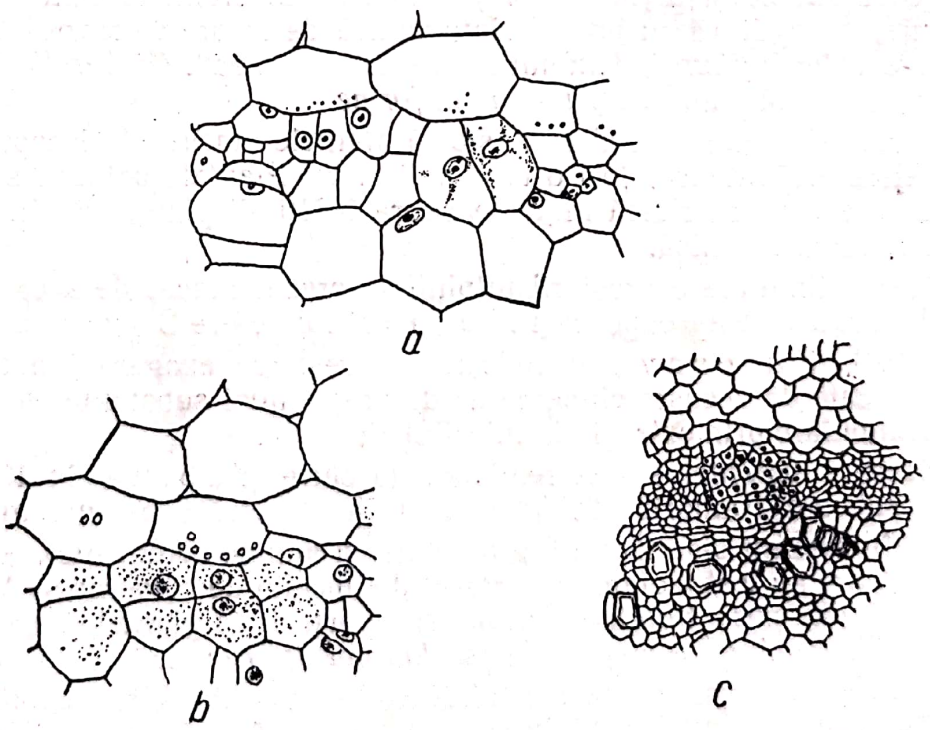


Fig. 113. Secțiune transversală prin butași de *Coleus hibridus* după tratare cu auxină. Etapele formării complexului meristematic în periciclu *(a, b, c)*

tratamentul se face direct pe tubercule sau prin stropirea frunzelor în perioada a doua de vegetație.

Auxinele artificiale stimulează legatul și creșterea primelor fructe la tomate, în special în condiții de seră. Fructele tratate se coc mai repede și sînt lipsite de semințe sau au semințe puține. De asemenea, auxinele artificiale împiedică căderea prematură a fructelor la meri, peri, caișI dacă plantele se stropesc cu cîteva zile înainte de începerea căderii. Tratamentul favorizează și coacerea mai rapidă a fructelor.

Pentru înrădăcinarea butașilor și obținerea de fructe fără semințe la tomate, auxinele artificiale cele mai des folosite sînt : acizii β — indolilacetic, β— indolilbutiric, β — indolilpropionic, acidul α — naftilacetic, acidul α — naftoxiacetic, acidul β — naftoxiacetic, acidul 2,4 — diclorfenoxiacetic, acizii ftalamici și alții.

O importantă aplicație a auxinelor artificiale este ca ierbicide. Se folosesc derivații acizilor fenoxiacetic, fenoxibutiric, fenoxipropionic și ftalamic. In anumite doze, ei distrug buruienile dicotiledonate ca rapița, pălămida din culturile de cereale, cînd acestea se află în faza de înfrățire. La porumb se aplică înainte de răsărit sau cînd plantele au 15 cm înălțime. Se aplică prin stropire, sub formă de soluții apoase.

Distrugerea buruienilor dicotiledonate se explică prin migrarea auxinelor pînă în rădăcină, unde produce o proliferare anormală a cambiului cu formarea de tumori, o respirație anormală, tulburări în metabolismul fosforului.

h) *Giberelinele și acțiunea lor fiziologică.* Giberelinele s-au descoperit în Japonia, în legătură cu boala criptogamică de la orez, provocată de ciuperca *Gibberella fujikuroi,* denumită popular „bacanae". *Gibberella fujikuroi* este forma perfectă a lui *Fusarium moniliforme.*

O caracteristică a acestei boli este că plantele atacate, la începutul bolii au o creștere mai intensă, deci o talie mai mare. Plantele bolnave se disting ușor prin aceea că se ridică mult deasupra înălțimii plantelor sănătoase și au o culoare mai deschisă.

Această stimulare a creșterii tulpinii la orezul atacat de această boală a fost observată îndeaproape încă în anul 1912 de către S a v a d a.

În 1926, K u r o s a v a dovedește că creșterea exagerată a tulpinilor de orez atacate de această ciupercă se datorește unei substanțe, deoarece el obține o stimulare prin extract din miceliul ciupercii.

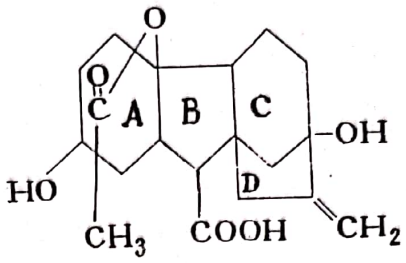
Izolarea substanței a fost realizată de către Y a b u t a în 1935, care obține o substanță amorfă. Tot el denumește această substanță giberelină.

Pînă în prezent s-au izolat 9 gibereline, și anume : AG_1, AG_2, AG_3, AG_4, AG_7, AG_9, care au fost izolate din extract de miceliu de ciupercă și AG_5, AG_6, AG_8, izolate din extract obținut din diferite părți de la plantele superioare și în special din semințe necoapte (*Phaseolus multiflorus* etc.).

Din aceste substanțe, cea mai bine cunoscută este AG_3=acidul giberelinic, majoritatea studiilor făcîndu-se cu această substanță, întrucît are acțiunea fiziologică cea mai mare.

Scanned with OKEN Scanner

Formula de structură pentru AG_3 este următoarea :



Giberelina se degradează ușor prin încălzire în soluții acide și se obțin produși de degradare între care acidul alogiberic și acidul giberic, care sînt biologic inactivi.

Pentru evidențierea giberelinei în diferite organe vegetale s-au elaborat o serie de *bioteste*. Se folosesc în acest caz diferite plante sau numai părți din plante, la care se aplică soluții de giberelină sau extracte și se apreciază cantitatea de giberelină după reacția de creștere. Se folosesc următoarele plante întregi : orez, ovăz, grîu, porumb, fasole, mazăre, *Pharbitis nil, Perilla ocymoides, Rudbekia bicolor*.

i) *Răspîndirea și efectul giberelinelor în plante*. Pînă în 1950 s-a considerat că giberelinele există numai la ciuperca *Gibberella* și la alte microorganisme. De atunci încoace, presupunerea s-a dovedit inexactă. S-au descoperit substanțe de felul giberelinelor și la plante superioare : în semințele necoapte de fasole, de mazăre, lupin, porumb, migdal etc., în lăstari, frunze, inflorescențe tinere de mazăre, rapiță etc.

Efectul cel mai evident este corectarea în special a nanismului („de o singură genă"), care se constată la *Zea mays, Pisum sativum, Hordeum sativum, Lolium perenne*, sărace în gibereline, sau la forme cu un genotip necunoscut, întîlnite la *Pisum sativum, Vicia faba, Phaseolus vulgaris, Lathyrus odoratus* etc., la segreganții pitici, rezultați din încrucișări între linii de *Thephrosia vogelli*. Este evident că la aceste forme pitice lipsește o etapă din sinteza giberelinelor naturale, și prin adăogarea artificială de gibereline se înlătură blocajul „genetic". Unele forme de nanism ar fi cauzate de inhibitori care sînt anihilați de giberelinele adăugate artificial.

În cazul nanismului de la unele soiuri de grîu, giberelina nu a avut nici un efect.

La formele obișnuite, giberelina stimulează creșterea tulpinei și a frunzelor, în special în lungime, și această acțiune este în legătură mai ales cu alungirea celulelor (fig. 114). Influența aceasta este deosebit de evidentă la in și cînepă (la cînepă s-a obținut o creștere de 4—5 ori mai mare).

Pentru a se obține un efect vizibil, dozele minime de giberelină sînt foarte mici. Astfel, la porumb sînt încă eficace doze de 0,001 micrograme la o plantă, iar la mazăre și ovăz — 0,01 micrograme. Pe măsură ce se administrează doze mai mari, plantelé răspund mai puternic, iar pînă la 10 micrograme la porumb și 2 micrograme la mazăre se observă o creștere liniară logaritmică. La plantele tratate se observă o culoare mai deschisă, care se datorește faptului că sinteza clorofilei nu ține pas cu creșterea celulelor. Caracteristic pentru gibereline este că dozele maxime sînt foarte ridicate, și

Fig. 114. Acțiunea giberelinei la mazăre, soiul *Delicatess* (original)

trecerea se face treptat de la doze optime la doze maxime. Dozele foarte mari sînt vătămătoare și se manifestă în cloroză, încrețire și răsucirea frunzei.

Este de remarcat faptul că stimularea creșterii vegetative este însoțită și de o creștere a cantității de substanță uscată (la ierburi, substanța uscată la prima coasă a crescut cu 46%). Acțiunea giberelinelor depinde puțin de temperatură, însă depinde mult de durata zilei.

Giberelinele au acțiune și asupra tulpinii turtite de *Opuntia,* favorizînd alungirea pe seama lățimii.

Giberelinele prelungesc perioada de repaus, grăbesc ieșirea din repaus sau fac posibilă evitarea lui. Astfel, *Acer pseudoplatanus, Betula pendula, Fraxinus excelsior,* la care s-au aplicat săptămînal gibereline, au intrat în repausul de toamnă mult mai tîrziu. În schimb, aceste specii au pornit primăvara în creștere cu 1—3 săptămîni mai tîrziu.

La unele specii de lemnoase (piersic, *Hydrangeia macrophylla)* giberelina întrerupe repausul și grăbește înfloritul. Această acțiune este și mai evidentă dacă plantele au primit o parte din frigul necesar.

Giberelinele stimulează germinația semințelor, în special înlătură repausul la unele semințe, iar la altele scurtează parțial sau total perioada de post-maturație a semințelor.

La salată, *Parthenium argentatum* și *Lepidium virginicum* favorizează germinația semințelor la întuneric, germinație care, în mod normal, are loc la lumină. În unele cazuri nu înlocuiește total necesitatea de lumină, dar reduce foarte mult perioada de expunere. Astfel, la *Begonia,* perioada de lumină se reduce la 1 minut. S-a constatat că acțiunea giberelinei asupra germinației la întuneric a semințelor de tutun este favorizată de nitratul de amoniu și de potasiu.

Scanned with OKEN Scanner

Giberelinele determină obținerea de fructe partenocarpice (tomate, castravete, lubeniță, ardei, păr, măr). La unele plante (morcov, varză etc.), giberelinele determină iarovizarea la temperaturi ridicate, iar la plantele de zi lungă, înfloritul în condiții de zi scurtă. Aceste acțiuni vor fi analizate la capitolul „Dezvoltarea individuală a plantelor".

În privința influenței giberelinei asupra funcțiilor fiziologice, s-a constatat că influențează favorabil translocația asimilatelor, stimulează respirația, în special la germinația semințelor. La semințele de orez, giberelinele măresc cantitatea de enzime în endosperm. La frunze de tomate stropite cu giberelină s-au constatat presiuni osmotice mai mari.

Menționăm, de asemenea, acțiunea giberelinelor la cartofi. Stropind cu soluție de giberelină partea aeriană, aceasta se dezvoltă mult în detrimentul formării tuberculului care, în caz extrem, nu se formează de loc. La tuberculii de cartofi întrerupe perioada de repaus chiar dacă în prealabil plantele au fost stropite cu hidrazia acidului maleic.

j) *Interacțiunea dintre gibereline și alte substanțe de creștere.* Față de celelalte substanțe de creștere, giberelinele pot să aibă o acțiune sinergică, antagonistă sau specifică, adică proprie numai ei. O acțiune sinergică cu acidul β — indolilacetic se constată la formarea fructelor partenocarpice la tomate. De asemenea, în cazul pețiolului la *Ipomea batatas,* precum și în activitatea cambiului la unele dicotiledonate lemnoase etc. Ultimul caz este deosebit de interesant, deoarece s-a constatat că fiecare din cele două substanțe are o acțiune specifică. Giberelina singură determină formarea unei zone de țesut nou cu celule nelignificate. Acidul β — indolilacetic aplicat singur provoacă formarea unei zone înguste de vase noi lignificate. Administrate împreună, stimulează mult activitatea cambiului și formarea xilemului.

Împreună cu chinetina are acțiune sinergică la creșterea discurilor de frunze la ridiche, apoi la germinația semințelor de *Trifolium repens, Lactuca sativa,* formarea tetradelor în antere de *Allium cepa.*

Acțiunea antagonistă dintre auxine și gibereline se constată la creșterea mugurilor laterali. Aceștia sînt stimulați de giberelină. Dacă se adaugă auxină în aceeași cantitate, creșterea mugurilor nu are loc. Pentru a porni din nou în creștere, este nevoie să se adauge giberelina într-o cantitate de 5 ori mai mare. Rezultă că giberelinele anulează „dominanța" apicală determinată de fluxul de auxină care coboară din vîrful terminal de creștere pe tulpină în jos și inhibă creșterea mugurilor laterali. Acțiunea antagonistă se mai poate observa și la formarea rădăcinii ; auxinele promovează formarea rădăcinilor, pe cînd giberelinele pot să inhibe acest proces.

Față de substanțele inhibitoare naturale și artificiale, giberelinele au o acțiune antagonică. Astfel, acțiunea inhibitoare asupra creșterii a substanței Amo-1618 (clorura metilică de 2-izopropil-4 dimetilamină-5 metilfenil-1 piperidin-carboxilat) la fasole și la crizanteme este anulată de giberelină, care provoacă diviziunea celulară în meristemele subapicale.

Cumarina inhibă germinația la semințe de salată. Această inhibiție este anulată de giberelină.

În ce privește acțiunea giberelinei, se consideră că ea ar reduce activitatea oxidazei acidului β — indolilacetic sau ar constitui o nouă grupă de

substanțe stimulatoare. Majoritatea cercetătorilor, susțin al doilea punct de vedere.

1) *Aplicațiile giberelinelor.* Descoperirea giberelinelor și a acțiunii lor multiple, întocmai ca și în cazul auxinelor, a determinat numeroase încercări de aplicare practică a giberelinei. S-au obținut rezultate atît pozitive, cît și negative. Este însă prematur de a ne pronunța definitiv în această direcție, cu atît mai mult cu cît s-a constatat că acțiunea celor nouă giberelline nu este în toate cazurile aceeași. Astfel, AG_3 nu a favorizat iarovizarea la temperaturi ridicate la *Myosotis alpestris,* dar iarovizarea a fost posibilă cu giberelina A_7. Încă nu cunoaștem suficient acțiunea giberelinelor și mai ales interacțiunea dintre giberelină, auxine, chinetine și inhibitori. Procesul creșterii și procesul de morfogeneză sînt determinate de interacțiunea dintre aceste substanțe, din care un rol important îi revine raportului cantitativ dintre acestea.

Aplicații cu giberelină la grîu, cartofi, mazăre, morcov, salată nu au adus un spor de recolte.

La pajiști au un efect bun primăvara sau toamna, cînd îngrășămintele acționează slab.

La peluze, după o creștere viguroasă a primei recolte, urmează o creștere mai slabă a recoltei a doua.

La porumb, producția de cariopse a fost mai mare cînd s-a aplicat giberelină la polenizare. La două linii de porumb, consangvinizate, giberelina determină malsterilitatea.

La sfecla de zahăr, H. Chirilei și G. Curticăpeanu (1961—1963) au obținut o mărire a producției de rădăcini, dar procentul de zahăr a fost mai mic, la soia o creștere a producției de boabe, iar la cartof, o creștere a producției de tuberculi.

Efecte bune s-au obținut la soiurile de vie Negru Corint și Delaware. Este mai important momentul de tratare decît doza folosită. Cel mai bun moment este cînd majoritatea caliptrelor au căzut.

La salată s-a evitat faza de căpățînă și s-au obținut semințe în cantitate mai mare cu cheltuieli mai mici.

La flori, rezultate bune s-au obținut la azalee, unde se înlocuiește necesitatea de temperaturi joase. În general, florile stropite cu giberelină sînt mai mari, iar la *Begonia* înfloresc mai uniform.

Promițătoare sînt aplicațiile giberelinei la puieții de arbori care cresc mai repede, chiar în condiții de zi nefavorabile.

O aplicație în practică, introdusă pe scară mare, este stimularea producției de malț, mai ales cînd orzul a suferit de pe urma treieratului.

Giberelina stimulează germinația semințelor de sfeclă, frasin și de plante medicinale.

O aplicație de perspectivă este scurtarea perioadei de stratificație a semințelor. De perspectivă sînt și aplicațiile de întrerupere a repausului la cartofi, lăcrămioare și hortensii.

La tomate crește numărul de fructe, se grăbește coacerea, dar fructele sînt mai mici.

Scanned with OKEN Scanner

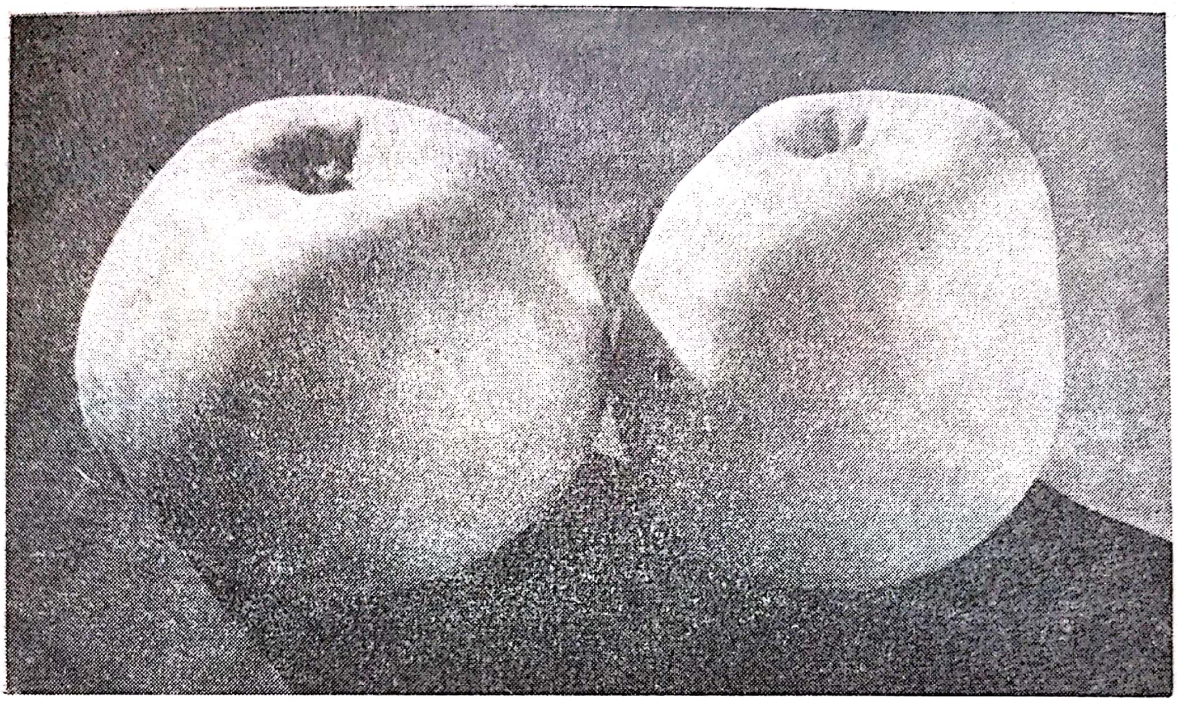


Fig. 115. Acțiunea giberelinei la măr: martor (*stinga*); fruct fără semințe tratat cu giberelină (*dreapta*) (original)

La legume, rezultate bune s-au obținut la spanac, dacă stropirile s-au făcut în ultima parte a perioadei de creștere.

Stropiri la castraveți direct pe flori au avut ca urmare fructe mai mari.

La măr, giberelinele produc fructe partenocarpice, ceea ce nu se obține cu auxină (fig. 115).

m) *Chinetina și chininele*. Chinetina și chininele sînt a patra grupă de substanțe care reglează creșterea la plante. Primele trei grupe sînt biosul, auxinele și giberelinele.

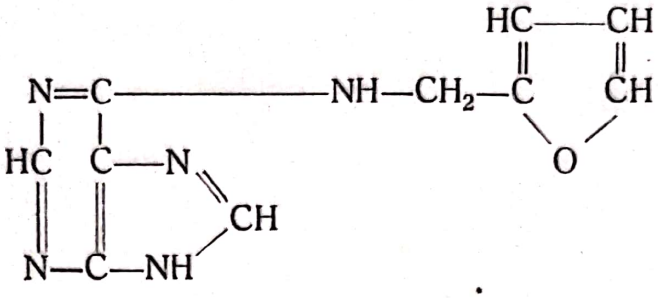
Chinetina este o purină substituită, și aceasta arată că este o substanță implicată în metabolismul acizilor nucleici și al proteinelor.

Chinetina s-a descoperit la culturi de țesuturi de tulpini de tutun (*Nicotiana tabacum*). La aceste secțiuni s-a format, în mediul care conținea săruri minerale, zaharoză, vitamine și glicerină (incluse în agar), calus la capetele bazale. Calusul s-a dezvoltat încet, și în cele din urmă și-a oprit creșterea. AIA a stimulat creșterea la început, dar nu a asigurat o creștere continuă. Porțiuni de calus așezate pe un mediu proaspăt nu au continuat în nici un caz să se dezvolte mai departe. A rezultat de aici că din tulpină s-a consumat un principiu activ necesar pentru creștere. Acest principiu se găsește în lapte de cocos sau extract de drojdie, deoarece acestea asigură o creștere continuă.

Principiul activ a fost separat din extract de drojdie, în etalon 95% și precipitat cu săruri de argint în mediu acid. Din acest precipitat s-a extras apoi în dietileter — chinetina.

Scanned with OKEN Scanner

Formula de structură a chinetinei arată că este o 6-furfurilaminopurină



Chinetina are numeroase efecte biologice. Prima acțiune observată a fost stimularea diviziunii celulare în țesuturi de calus de tutun, dacă este prezent și AIA. Această acțiune este și mai evidentă în culturi de măduvă de tutun. În ultimul caz, chinetina singură nu are nici o influență. AIA determină un număr redus de diviziuni. Ambele substanțe determină o intensă diviziune celulară.

În continuarea cercetărilor s-a obținut cu aceste substanțe o stimulare a diviziunii celulare în țesăturile de rădăcină de morcovi, calus de cotiledon de soia, calus de rădăcină de mazăre, calus de tulpină de *Xanthium* și mitoză în radicele la sămînța de salată.

Chinetina influențează și procesul de alungire a celulei. Aceasta s-a constatat la discuri de frunze etiolate de *Phaseolus vulgaris,* discuri de frunze crescute la lumină la *Raphanus sativus* și altele.

Un fapt deosebit de important este că proporția dintre auxine și chinetine, în prezența de substanțe nutritive de bază ca fosfați și aminoacizi, determină însuși procesul de morfogeneză în calus. Astfel, calusul de tutun pe un mediu care conține 2 mg/l chinetină se va dezvolta în continuare ca un calus nediferențiat; dacă la aceeași cantitate de auxină scade cantitatea de chinetină (0,02 mg/l) se formează rădăcini, iar la o concentrație de 0,5—1 mg/l se formează muguri (lăstari). Asemenea rezultate s-au obținut și la segmente de tulpină de tutun, la segmente de rădăcină de *Convolvulus arvensis,* la *Saintpaulia ionantha.* La frunze de *Begonia,* chinetina a avut ca efect o inhibiție a creșterii rădăcinilor și apariția de muguri (lăstari) la marginea discurilor. Rezultă că chinetina anulează polaritatea.

Chinetina stimulează dezvoltarea mugurilor în lăstar, cum s-a observat la secțiuni de tulpină la *Pisum sativum,* soiul Alaska. Chinetina învinge în acest caz dominația mugurelui apical asupra mugurilor laterali și contractează efectul inhibitor al lui AIA, aplicat pe segmente de tulpină. Unii autori sînt de părere că dominanța apicală normală depinde de interacțiunea dintre auxină și o substanță de creștere de felul chinetinei.

Lona și Bocchi au constatat că chinetina aplicată zilnic pe vîrfurile plantei a determinat și a intensificat ramificarea la *Perilla ocymoides* var. *nankinensis, Centaurea calcitrapa, Crepis leontodonoides, Centaurea cyanus, Aster chinensis, Aethusa cynapium, Triticum vulgare* și *Secale cereale.*

Scanned with OKEN Scanner

În cîteva experiențe s-a obținut stimularea înrădăcinării. Astfel, în prezența hidrolizantului de cazeină și AIA, chinetina, în concentrație de 0,02 mg/l, a intensificat înrădăcinarea la calus de tulpini de tutun. Concentrațiile mai mari s-au dovedit însă inhibitoare. Rezultate inhibitoare s-au obținut la tomate, *Brassica campestris, Allium cepa, Allium sativa.* Se poate însă că în aceste cazuri nu s-a lucrat cu o variație suficientă de concentrații.

S-au făcut numeroase experiențe pentru a stabili influența chinetinei asupra creșterii discurilor de frunze. Rezultate pozitive s-au obținut la fasole, ridiche, tutun, porumb, floarea-soarelui, nap, cartof, mazăre, *Brassica campestris, Spinacia oleracea, Zelkova serrata.* La frunze de fasole pitică s-a constatat însă o inhibiție a creșterii frunzei primare.

În unele cazuri, chinetina a dat naștere la fenomene neobișnuite ca: pețioluri foarte scurte, lobi foarte lungi, segmentare repetată, frunze nelaminate, la *Marsilea drummondii.*

La semințe de salată, chinetina a întrerupt starea de repaus, de asemenea la semințe de tutun, trifoi alb, sau perioada de repaus la mugurii de iarnă la *Hydrocharis* și la *Lemna minor.*

În privința biochimiei acțiunii chinetinei s-a constatat că stimulează respirația (la secțiuni de măduvă de tutun), sinteza de ARN și ADN în celulele de rădăcină de ceapă. În frunzele detașate, chinetina a împiedicat degradarea proteinelor (la *Xanthium pennsilvanicum, Nicotiana rustica*). Efectul este local și se datorește mobilizării glicinei (cu carbon marcat și aplicată în altă parte a frunzei). Chinetina stimulează formarea de antocian în petalele de *Impatiens balsamina* și sinteza de amidon.

Importanța compoziției chinetinei s-a studiat prin trei teste biologice: diviziunea celulară în țesuturi de calus de tutun, germinația semințelor de salată, alungirea celulelor în discuri de frunze de ridiche.

Pînă în prezent nu s-a găsit în plante sau animale o purină de felul chinetinei. Numeroase extracte însă au un efect asemănător (asupra diviziunii celulare). Astfel, laptele de nucă de cocos, pulpa de cocos, endospermul de porumb, fructele tinere de măr și extracte din floem intern determină diviziunea celulară la măduva de tutun.

În plante s-au găsit însă compuși obținuți și sintetic, care sînt activi și care au primit denumirea de chinine. Astfel, 6-metilaminopurina și 6-dimetilaminopurina s-au găsit în germenii de grîu, iar 6-metilaminopurina s-a găsit în ARN solubil din *Escherichia coli.* Ambele substanțe au un efect redus asupra discurilor de frunze.

Chinetina nu este o auxină. Aceasta rezultă din prima acțiune biologică constatată. Pentru diviziunea celulară în țesutul de calus de tutun este necesară prezența simultană de chinetină și AIA. În acest caz au o acțiune sinergică. În alte cazuri însă se constată acțiuni opuse. Astfel, auxina promovează creșterea secțiunilor de tulpină de mazăre și hipocotil de floarea-soarelui, creștere inhibită de chinetină. Formarea mugurilor este inhibită prin aplicarea de auxine și stimulată de chinetină.

Germinația semințelor de salată, creșterea discurilor de frunze de fasole crescută la întuneric, formarea frunzelor la *Lemna minor* sînt stimulate de

Scanned with OKEN Scanner

expunerea la lumină roșie sau prin aplicarea de chinetină la întuneric. Cei doi agenți (lumina și chinetina) acționează însă diferit în mecanismul de creștere. Aceasta se vede din faptul că chinetina singură determină o germinație relativ redusă a semințelor de salată la întuneric, dar este mult mai eficace cînd semințele sînt expuse la o lumină de o intensitate insuficientă pentru germinație. În discurile de frunze de fasole, chinetina stimulează alungirea celulelor, iar lumina roșie, diviziunea celulară.

În procesul de înflorire la plante sensibile fotoperiodic, cu ajutorul chinetinei s-au obținut pînă în prezent puține rezultate. Iona și Bocchi susțin că au redus numărul de cicluri inductive la *Perilla ocymoides*. Ceailahian și Butenko au reușit, la *Perilla nanchinensis*, să obțină din muguri izolați și cultivați pe mediu de cultură la zi lungă să înflorească cu ajutorul chinetinei sau adeninei.

5. Substanțele inhibitoare ale procesului de creștere

În plante s-au găsit numeroase substanțe inhibitoare pentru creștere. Unele au fost identificate chimic, altele au fost numai separate prin cromatografie, iar acțiunea inhibitoare s-a pus în evidență prin teste biologice. După acțiunea lor, pot fi grupate în : a) antagoniste ; b) inhibitori.

Substanțele antagoniste diminuează activitatea lui AIA (stimulatoare sau inhibitoare).

Astfel sînt acidul izobutiric, acidul trans-cinamic, hidrazida acidului maleic și unele lactone (anemonina, acidul paraascorbic, ombeliferonul, scopoletina).

Modul de acțiune al acestor substanțe este explicat prin teoria „fixării în două puncte" a auxinelor. Substanțele antagoniste împiedică o atașare normală la substrat (auxinele se fixează numai la un punct).

Inhibitorii nu au proprietăți antagoniste cu AIA, ci inhibă întotdeauna procesul de creștere. Se găsesc în țesuturile plantelor, în fructe, semințe, cotiledoane, rădăcini etc.

Mulți inhibitori s-au găsit în plantele *Parthenium argentatum*. *Artemisia absinthium*. Inhibitoare sînt și unele lactone nesaturate (exemplu, cumarina), care inhibă și germinația semințelor.

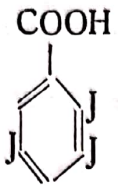
Unele substanțe, în concentrație mică, măresc efectul lui AIA (sinergism), iar în concentrații mari sînt inhibitoare. Astfel sînt acidul 2, 3, 5, triiodbenzoic (I) și multe lactone.

În contrast cu inhibitorii, unele substanțe au rol activator. Astfel sînt glucidele și aminoacizii : arginina, glicina, asparagina, valina. În anumite concentrații măresc mult activitatea lui AIA.

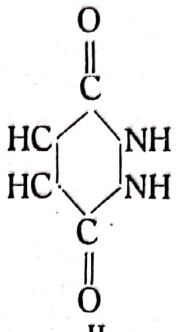
Din toate substanțele enumerate, aplicații practice a găsit numai hidrazida acidului maleic (II). Stropiri cu această substanță împiedică înfloritul la salată, varză, spanac, sfeclă, tutun, inhibă creșterea gazonului și a gardurilor vii, împiedică încolțitul cartofilor, cepei, morcovilor, combate buruienile tîrîtoare, combate odosul și pirul, împiedică deschiderea mugurilor, pre-

Scanned with OKEN Scanner

lungește viața florilor, provoacă ramificația la crizanteme, mărește capacitatea de păstrare a fructelor.



I



II

6. Factorii externi ai creșterii

Procesul creșterii este mult influențat de factorii externi ca: temperatura, lumina, umiditatea, substanțele minerale. În comparație cu fotosinteza și respirația, creșterea are o sensibilitate mai mare față de factorii externi. Cunoașterea influenței factorilor externi asupra creșterii permite o mai bună aplicare a procedeelor agrotehnice (irigația, aplicarea de îngrășăminte chimice, iluminarea artificială).

a) *Temperatura.* Plantele pot crește numai între anumite limite de temperatură. În această privință, cu cît plantele provin mai de la nord, pot să crească la temperaturi mai joase. Unele plante din tundra polară cresc chiar în pămîntul înghețat. O creștere foarte lentă are loc și în muguri peste iarnă, în condițiile din țara noastră. Multe plante alpine au o temperatură minimă sub 0°. Astfel, *Anemone* crește sub zăpadă. Temperaturile maxime se întîlnesc la bacterii și la alge albastre, care trăiesc în ape termale la 80°. Majoritatea plantelor nu suportă o temperatură mai mare de 50°. În cadrul unei plante, rădăcinile cresc la o temperatură mai joasă.

Curba relației dintre creștere și temperatură este de tipul de la fotosinteză și respirație cu trei puncte cardinale, minim, optim și maxim de temperatură (în tabelul 40).

Tabelul 40

Temperaturile minime și maxime în timpul creșterii la cîteva plante

Speția	Minim	Maxim
Mazăre (rădăcini)	−2	44,5
Grîu	0−2	42
In	3−4	39−40
Arțar	7	26
Porumb, mei, mohor, soia	9,5	46
Dovleac, bumbac, orez	12−14	46
Ciuperca *Mucor racemosus*	4	33
Ciuperca *Botrytis cinerea*	−2	29
Ciuperca *Aspergillus fumigatus*	15	60

În tabelul 40 sînt arătate temperaturile minime și maxime pentru diferite plante. După cum rezultă din tabelul de mai sus, există o mare variabilitate între diferitele plante.

Aceste valori sînt relative și ele se modifică în funcție de etapa de dezvoltare. La plantele de toamnă, la început, pentru creștere și dezvoltare, optime, sînt temperaturile joase, apropiate de 0°.

Intensificarea creșterii o dată cu ridicarea temperaturii este mai mare în zona temperaturilor joase decît în zona temperaturilor ridicate. Astfel rădăcinile de mazăre, dacă temperatura se ridică de la 0 la 10°, își intensifică creșterea de 9 ori, dar de la 10 la 20°, numai de 2,5 ori, iar de la 18 la 28° — de 1,9 ori. Minimul de temperatură nu este temperatura mortală. Aceasta se găsește uneori mult mai jos. Astfel, la grîu este de —25°, iar la arbori —45°. La plantele tropicale, temperatura mortală este la 10°.

Temperatura are și o acțiune morfologică. Tuberculele de cartofi, la temperaturi scăzute, în loc de lujeri formează stoloni scurți, terminați cu tubercule mici. La temperaturi joase, la morcovi se formează rădăcini lungi și subțiri. La *Petunia,* temperaturile ridicate în perioada de creștere a mugurilor, influențînd asupra reacțiilor biochimice din plante, contribuie la formarea de flori albastre (cu antocian), iar temperaturile joase, de flori albe.

În aprecierea acțiunii temperaturii trebuie să se ia în considerație nu numai intensificarea creșterii, dar și caracterul acesteia. Astfel în seră, la temperaturi ridicate, plantele au o creștere intensă, dar structura organelor este anormală, sînt alungite și nerezistente.

b) *Lumina.* Plantele cresc și în lipsă de lumină, dar plantele ținute prea mult timp la întuneric au o creștere anormală, sînt *etiolate* (fig. 116). Plantele etiolate au tulpinile alungite, internodii lungi, frunze mici, nu au țesuturi mecanice, și în general diferențierea țesuturilor este slabă. Celulele sînt bogate în apă și au pereții subțiri. O etiolare parțială se produce și la umbră, fiind cauza căderii cerealelor. În cazul acesta, etiolate sînt primele internodii de la baza tulpinii.

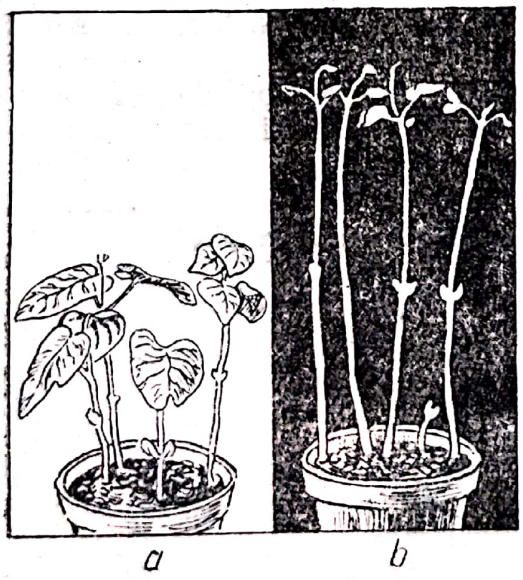


Fig. 116. Plante de fasole crescute la lumină *(a)* și la întuneric *(b)*

O creștere normală are loc numai într-un regim normal de lumină și întuneric în cursul unei zile.

Lumina are o acțiune directă și indirectă asupra creșterii. Indirect, lumina influențează prin procesul de fotosinteză, prin care se asigură substanțele nutritive necesare pentru construirea de noi celule. Lumina influențează în mod indirect și prin schimbarea direcției de circulație a asimilatelor. Migrarea substanțelor din frunză se face la o lumină mai intensă. La zi scurtă, asimilatele migrează spre rădăcini, iar la zi lungă, spre mugurii terminali ai lăstarilor. De aceea, la zi scurtă crește mai mult aparatul radicular, iar la zi lungă, aparatul foliar.

Scanned with OKEN Scanner

Influența directă a luminii asupra creșterii constă în trecerea mai rapidă a etapelor de creștere, în special etapa de alungire. În schimbarea formei sînt active radiațiile albastre și violete; cele roșii au o influență mai slabă (fig. 117). Plantele alpine au o talie mică din cauza abundenței la mari altitudini a razelor ultraviolete. Această acțiune a razelor ultraviolete este pusă în legătură cu distrugerea auxinelor.

Germinația semințelor fotofile este favorizată de razele roșii. Razele roșii însă nu favorizează creșterea normală a internodiilor. Ele cresc lungi și subțiri. Acțiunea razelor roșii este anulată de razele infraroșii. Acest antagonism dintre razele roșii și infraroșii se constată și la fotoperiodism (a se vedea capitolul „Dezvoltarea individuală a plantelor").

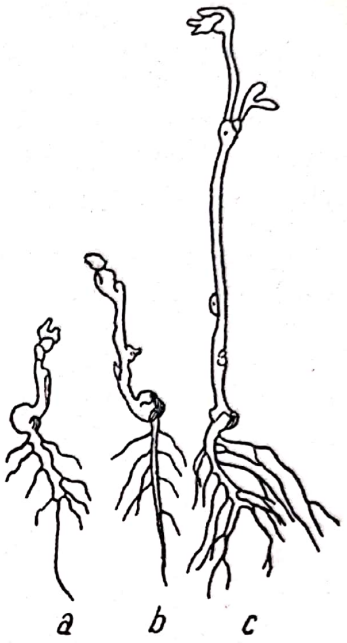


Fig. 117. Plante de mazăre: *a* — la lumină albă; *b* — la lumină albastră; *c* — la lumină portocalie

Acțiunea razelor roșii și infraroșii are loc prin intermediul unui pigment numit *fitocrom,* care se găsește în două stări reversibile. Acest pigment a fost izolat și este o proteină nesaturată, care acționează ca un catalizator.

Lumina are o puternică acțiune morfogenetică. Din sporii de ferigă, la lumină puternică se dezvoltă o plantă filiformă, la lumină slabă o ferigă obișnuită. La iederă, rădăcinile de fixare se formează numai pe partea umbrită a lăstarilor. E m. C. T e o d o r e s c u a arătat că frunzele au suprafața maximă la radiațiile albastre și minimă în verde.

c) *Umiditatea.* Lipsa apei are urmări negative în primul rînd asupra creșterii. Dintre toate procesele, creșterea este cel mai sensibil. Faza embrionară este partea din procesul de creștere cel mai mult influențată. A l e k s e e v a dovedit că la grîu, dacă lipsește apa, suferă cel mai mult frunzele care, în această perioadă, se găseau în stare embrionară (tabelul 41).

Tabelul 41

Influența secetei solului asupra creșterii frunzelor la grîu

Numărul frunzelor de jos în sus	Plantele de control		Ofilire în faza frunzei a doua		Ofilire în faza frunzei a patra	
	lungimea frunzelor, în cm	suprafața frunzei, în cm²	lungimea frunzelor, în cm	suprafața frunzei, în cm²	lungimea frunzelor, în cm	Suprafața frunzei, în cm²
1	2	3	4	5	6	7
2	19,7	4,7	18,7	3,3	19,7	4,7
3	22,3	9	16,8	5,3	22,3	9
4	23,8	11,4	11,4	4,2	23,3	4,8
5	25,4	15,3	5,4	2,2	13,5	7,1
6	24,6	17,2	4,2	1,7	7,4	4
7	20,1	15,2	5,3	2,1	8,6	5,1

Din tabel rezultă că dacă s-a provocat o ofilire cînd plantele se găseau în faza de două frunze, cel mai mult a suferit frunza a șasea, care în perioada ofilirii se găsea în stare embrionară.

Necesitatea unei cantități mari de apă pentru creștere se constată și în cazul semințelor. Dacă semințele primesc jumătate din cantitatea de apă pe care o absorb, în semințe au loc procesul de respirație și descompunerile hidrolitice ale substanțelor de rezervă dar embrionul nu crește. Viteza de creștere a embrionului este cu atît mai mare, cu cît se depășește această cantitate subminimală de apă.

Pentru rădăcină sînt importante și condițiile de *aerație*. Procentul optim pentru creșterea rădăcinilor variază mult la diferitele plante. Astfel, soia are nevoie de 6% oxigen, ovăzul de 8%, tomatele de 16%. Orezul are optimumul de 3%, dar la 0,2% crește mai bine decît în atmosfera cu 20% oxigen.

7. Corelația și importanța ei în viața plantelor

Plantele se deosebesc de animale — printre alte însușiri — printr-o independență relativ mai mare a organelor. Dintr-o porțiune de tulpină se poate regenera întreg organismul dacă are mugure. La multe plante, această capacitate de regenerare este atît de mare, încît dintr-o porțiune de tulpină, frunză sau rădăcină se poate regenera din nou întreaga plantă.

O frunză izolată de pe planta mamă, în condiții bune de umiditate și temperatură, continuă cîtva timp să funcționeze normal : să respire și să sintetizeze materia organică din CO_2. Organismul vegetal nu este atît de centralizat ca cel animal (datorită sîngelui și sistemului nervos), această independență este însă relativă. Organele plantei se influențează reciproc și alcătuiesc la un loc un organism unitar. De pildă, absorbția apei prin rădăcini depinde de transpirația frunzelor, absorbția sărurilor minerale depinde de intensitatea asimilației.

O legătură complexă între organe se manifestă în procesele de creștere. Creșterea unui organ este influențată de creșterea altui organ. Creșterea vîrfului tulpinii frînează și chiar oprește creșterea mugurilor (lăstarilor) de pe tulpină. Exemplul clasic este la floarea-soarelui : la această plantă, de obicei, tulpina nu se ramifică și se termină cu o inflorescență. Dacă îndepărtăm vîrful tulpinei (mugurele terminal), „se trezesc la viață" mugurii de pe tulpină, care se ramifică, fiecare ramură terminîndu-se cu o inflorescență.

La arbori este o corelație între coroană și mugurii dorminzi din tulpină. Atîta vreme cît există coroană, mugurii dorminzi se află în repaus. Dacă se taie coroana, „inhibiția" pe care o exercită creșterea coroanei asupra mugurilor dorminzi este înlăturată și mugurii pornesc în creștere, dînd lăstari noi. Nu este necesar să se înlăture coroana în întregime. Îmbătrînirea coroanei și uscarea unor ramuri determină „trezirea" mugurilor dorminzi (exemplu la plopul piramidal sau la stejar), formîndu-se o coroană inferioară pe tulpină. Mugurii dorminzi s-au format încă în tinerețea arborilor și au

rămas în stare de repaus timp de mulți ani, uneori zeci și chiar sute de ani. După ce se dezvoltă coroana „inferioară", aceasta grăbește îmbătrînirea și moartea coroanei „superioare".

Influența între creșterea unor organe și creșterea altor organe se numește corelație. Mult timp acest fenomen a fost interpretat neștiințific, servind ca o dovadă pentru teorii vitaliste. Știința materialistă a arătat însă că la baza corelației stau agenții chimici, de felul auxinelor.

La conifere, de exemplu la brad, se observă o influență a lăstarului principal asupra celor secundari. Tulpina se termină cu un singur lăstar care crește mai mult decît ceilalți, și drept în sus. La baza sa se găsește o rozetă de lăstari orizontali sau aproape orizontali. Dacă îndepărtăm lăstarul principal, unul sau doi lăstari din rozetă își modifică direcția de creștere orizontală în direcție verticală. Această corelație de inhibire a creșterii și a direcției de creștere se constată și la plantele ierboase, ca la *Prenanthes purpurea* (fig. 118).

La măr, vișin și alte plante lemnoase găsim lăstari lungi, pe care mugurii nu sînt opriți în creștere decît parțial, iar acești muguri vor da naștere la ramuri foarte scurte.

Lăstarii care cresc viguros împiedică deci creșterea altor lăstari, și această corelație determină forma coroanei, poziția ramurilor și mărirea lăstarilor. Dacă lăstarul crește puternic, cîștigă o poziție dominantă. În această corelație dintre lăstari joacă rol lumina. Mugurii din partea luminată sînt mai bine dezvoltați și împiedică dezvoltarea mugurilor din partea umbrită. De multe ori acești muguri nici nu mai pornesc în creștere sau dau ramuri care cresc slab, și în curînd mor. Mugurii din partea umbrită sînt opriți în creștere din cauza dezvoltării viguroase a mugurilor din partea luminată, și nu din lipsă de lumină. În întuneric complet, toți mugurii se dezvoltă la fel. Forma regulată, armonioasă a coroanei se datorește acestei acțiuni regulatoare a luminii. Dacă toți mugurii s-ar dezvolta în aceeași măsură, coroana ar avea aspectul unei tufe dese, în care ramurile se împletesc și se stînjenesc reciproc. Aceasta ar avea consecințe negative asupra fructificației. Este adevărat că asupra dezvoltării mugurilor are importanță și

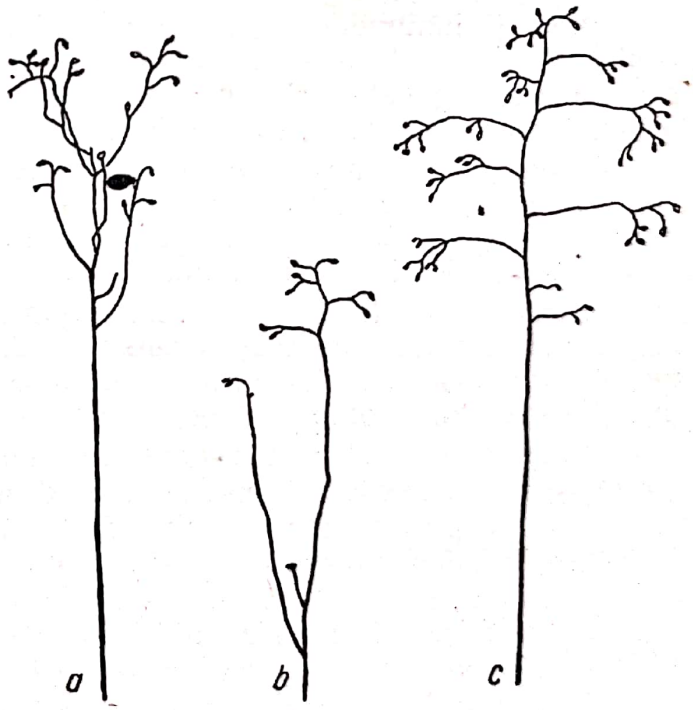


Fig. 118. Plante de *Prenanthes purpurea*:
a — plantă cu vîrful tăiat sus; *b* — plantă cu vîrful tăiat mai jos (lăstari din muguri dorminzi); *c* — plantă normală

fluxul de sevă, îngreuierea aprovizionării cu apă, dar în acești factori corelația joacă un rol hotărîtor.

Sensibilitatea la lumină a arborilor iubitori de lumină este mai mare decît la plantele „rezistente" la umbră. De aceea, pădurile de fag formează un „acoperiș" verde mai încheiat decît pădurile de pin sau mesteacăn.

Tabloul corelațiilor în creșterea lăstarilor principali și secundari ar fi incomplet dacă nu am arăta și celălalt aspect, și anume influența inversă dintre lăstarii secundari (laterali) și lăstarul principal. Lăstarii secundari reținuți în creșterea lor de lăstarul principal, la rîndul lor influențează creșterea lăstarului principal. Mai clar se vede această influență la pin. În vîrstă tînără, cînd predomină lăstarul tînăr, pinul are o formă piramidală. În vîrstă înaintată, forma coroanei este de umbrelă, din cauza dominației lăstarilor laterali asupra celui principal.

Lăstarul are un mugure terminal alcătuit din conul de creștere și frunze în stare embrionară, frunze în plină dezvoltare, frunze mature și muguri laterali.

Care din aceste organe influențează dezvoltarea mugurilor laterali ? S-a studiat la mazăre conul de creștere : frunzele embrionare au o influență neînsemnată. Principala influență inhibitoare provine de la frunzele în dezvoltare, în plină creștere, dar care încă nu au ajuns la jumătate din mărimea lor. Influență ar avea, prin urmare, cea de-a treia frunză tînără, în care au loc intense procese de diviziune a celulelor. În ce privește frunzele mature, influența lor se limitează la mugurele de la baza lor. Frunzele umbrite au o influență mult mai slabă decît frunzele expuse la lumină.

Influența inhibitoare a frunzelor mature rezultă și din stimularea lăstăritului dacă se îndepărtează aparatul foliar la arbori, în special la stejar, sau frunzele înghețată, ori sînt distruse de omizi. Experiența reușește chiar dacă se umbresc frunzele, fără să fie îndepărtate.

Fenomenul corelației este folosit practic la formarea coroanei și a rădăcinilor. Prin tăierea vîrfului tulpinilor se obține o ramificare — bogată la garduri vii sau la tufele de ceai. Prin ruperea vîrfului rădăcinii, aceasta se ramifică, la repicări și transplantări.

Corelația complexă există între organele de fructificație și organism. La plantele anuale, fructificarea aduce cu sine moartea plantei. La plantele perene, fructificarea are ca urmare încetinirea creșterii și intensificarea asimilației aparatului foliar.

Influența organelor de fructificare asupra plantei-mamă este demonstrată de experiența lui T u m a n o v la grîu. Lăsînd pe un spic de grîu un singur spiculeț, el a constatat că cele 2—3 boabe au fost mai mici decît boabele din spicul întreg. A constatat, de asemenea, că cu cît a lăsat în spic mai multe boabe, cu atît mai active au fost frunzele. Prin urmare, organele de fructificare în număr suficient cîștigă o poziție dominantă în organism. Un singur bob nu reușește să cîștige această poziție.

M. A. E g o r o v, rupînd florile la hrișcă, a obținut cu 56% mai multă substanță uscată. T u m a n o v a arătat că dacă se lasă pe plantă 7,5—12,5 capsule de in, creșterea vegetativă este mult inhibită (fig. 119).

Scanned with OKEN Scanner

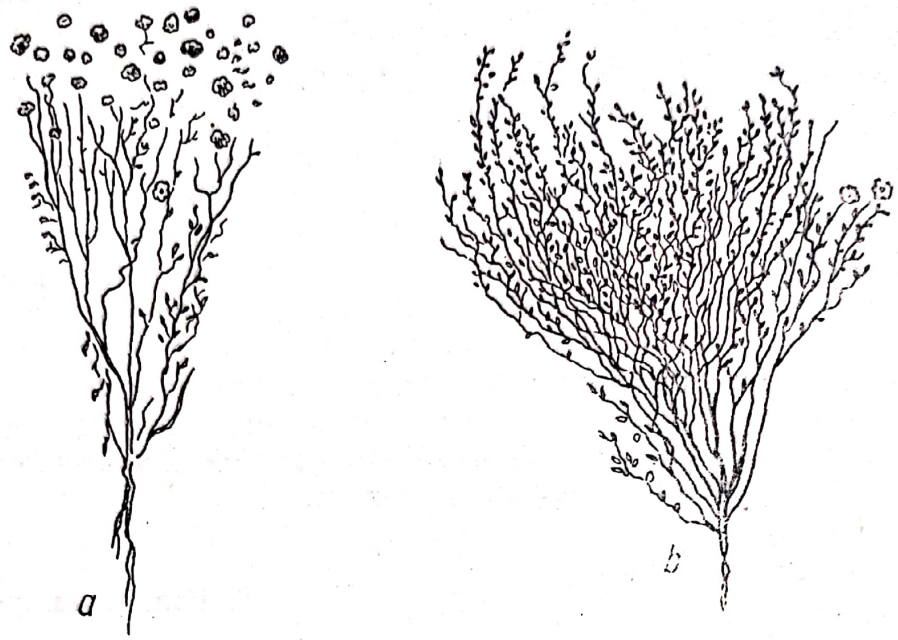


Fig. 119. Influența organelor generative asupra creșterii lăstarilor la in :
a — nu s-au îndepărtat florile; *b* — florile au fost îndepărtate

S-a mai arătat că fructificarea influențează numărul de muguri florali. In cazul unei recolte bogate de fructe — la pomi — se formează un număr redus de muguri florali, planta intră slăbită în iarnă, nerezistentă la ger. Fructificarea poate provoca în anul următor sterilitatea florilor, dimensiuni mai mici la flori, căderea mugurilor florali.

Cercetările făcute de diferiți autori au dus la următoarele concluzii : în organismul vegetal, diferitele părți se influențează reciproc. Poziție dominantă ocupă părțile în care au loc mai intens procesele de sinteză (frunzele, vîrfurile de creștere, organele de depozitare a substanțelor de rezervă, fructele, semințele etc.). Frunza are o acțiune inhibitoare asupra mugurelui axilar. Dar frunza este dependentă, la rîndul său, de fructul în dezvoltare sau de vîrful de creștere. Vîrfurile de creștere ocupă o poziție mai dominantă decît frunzele, deoarece aici are loc sinteza materiei vii. Fructele domină toate părțile organismului.

„Dominanța“ fiziologică a unui organ se manifestă în concurența pentru curentul de substanțe nutritive.

In cazul fructelor nu este indiferentă repartizarea lor pe tulpină ; fiecare fruct are o sferă de influență limitată.

O dată cu terminarea creșterii (sau trecerii în repaus la mugurii terminali) încetează și „dominanța“.

„Dominanța“ variază în cursul vegetației. La cereale, la început „domină“ nodul de înfrățire, apoi vîrful vegetativ, pe urmă organele de fructificare.

Mediul exterior influențează „dominanța“. Dacă ținem o plantă de zi lungă la zi scurtă, fructificarea este slăbită și se intensifică creșterea vegetativă.

Corelațiile de „inhibiție" își găsesc explicația în acțiunea auxinelor. După cum s-a arătat, acțiunea auxinelor depinde de concentrația lor și de sensibilitatea organelor. Mugurii axilari (laterali) au un optim de concentrație mai mic decît vîrful tulpinii (mugurele terminal).

La *Vicia faba* s-a stabilit experimental rolul auxinei în corelații. Plantulele decapitate au fost tratate cu plăci de agar îmbibate cu auxină. Rezultatul a fost că mugurii axilari au continuat să rămînă în stare de repaus.

Deci, una din cauzele inhibiției asupra creșterii mugurilor laterali și a lăstarilor laterali este curentul de auxine, care se deplasează de la vîrful vegetativ spre baza tulpinii. Acesta ia naștere în frunzele tinere.

Inhibiția mugurelui de la baza unei frunze are aceeași natură. Experiența s-a făcut la *Solidago*. S-a îndepărtat o frunză în plină perioadă de creștere, și în loc s-a pus pastă de lanolină cu auxină. Mugurele de la baza frunzei a continuat să rămînă în stare de repaus.

8. Fenomenul polarității

La orice organ distingem o bază și un vîrf. Dacă luăm în considerare planta întreagă, ea are o axă care se termină la un pol cu rădăcina, la celălalt pol cu mugurele terminal (vîrful de creștere). Organele și planta întreagă au o organizare care permite să distingem un pol superior și unul inferior. Această polaritate în repartiția organelor este o expresie a diferențierii funcțiilor, a specializării organelor în anumite funcții.

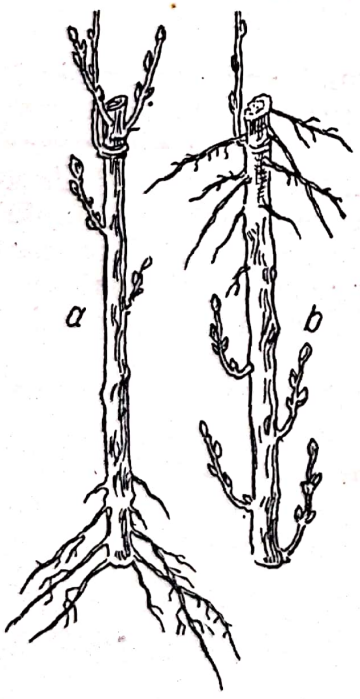


Fig. 120. Butași de salcie în poziție normală *(a)* și răsturnată *(b)*

În cazul arătat, polaritatea se manifestă de-a lungul unei axe longitudinale. La frunză, la talul mușchilor hepatici există o polaritate transversală, care apare în caracterul dorsiventral al acestor organe.

Polaritatea se manifestă și la organisme unicelulare. Astfel, ferobacteriile, la un capăt absorb fier bivalent și la celălalt capăt elimină fier trivalent.

Polaritatea se manifestă în organizarea morfologică și fiziologică a organismelor și are la bază limitarea corelativă a potențialelor individuale ale celulelor și țesuturilor, care fac ca organismul să fie unitar. Această limitare a potențialelor se poate întrerupe, și potențialele se realizează apoi în procesele de regenerare. Dar polaritatea se manifestă din nou în procesele de regenerare, atît regenerarea acelorași organe cu aceeași organizare, cît și în planul general de regenerare. Astfel, dacă se rupe filamentul algei *Cladophora*, se constată că orice celulă va da

naștere la un filament care la un capăt se termină cu rizoizi, iar la celălalt capăt cu un pol apical, cu funcție asimilatoare.

Polaritatea este determinată de factori interni și de factori externi. De exemplu, oul la alga *Fucus* formează totdeauna primul perete despărțitor, perpendicular pe lumină. La mușchiul *Marchantia polymorpha,* mugurii de înmulțire vegetativă formează în partea de jos rizoizi, iar în partea de sus talul. Dacă sînt luminați de jos, rizoizii se formează în partea superioară.

Exemplul clasic de polaritate este la regenerarea plantelor din butași, în special la salcie (fig. 120). Dacă se taie un butaș dintr-o ramură de salcie, la capătul inferior morfologic se vor forma rădăcini, la cel superior, lăstari. Deci butașul are un pol rizogen și unul caulogen. Poziția acestora nu se modifică dacă butașii sînt ținuți răsturnați, ceea ce ne arată că polaritatea lor nu este influențată de gravitație.

Butașii din rădăcina de păpădie se comportă la fel.

Polaritatea regenerării la butaș se explică prin sensul strict polar în care circulă auxinele. La partea bazală a butașului se acumulează auxine, la început cele existente în butaș, apoi cele sintetizate de lăstarul nou. Astfel ne explicăm de ce gravitatea nu influențează locul de formare a rădăcinilor, deoarece circulația auxinelor nu este împiedicată de gravitație.

Concentrarea auxinelor determină formarea de rădăcini adventive.

Prin acumularea de auxine în partea bazală, se micșorează cantitatea de auxine în partea superioară, mugurii superiori nu mai sînt inhibați de o cantitate prea mare de auxine și pornesc în creștere, inhibînd la rîndul lor mugurii mai inferiori. Pe de altă parte, acumularea auxinelor în cantitate mai mare este necesară pentru formarea rădăcinilor adventive. Cea mai bună dovadă este formarea de rădăcini la capătul superior, dacă pe acesta se așază o pastă de auxină. Necesitatea unei concentrații mai mari de auxină pentru formarea rădăcinilor rezultă și din următoarea experiență : dacă se inelează un butaș de plop la mijlocul său, fiecare porțiune de butaș se comportă ca un butaș aparte. Dar dacă inelul se face la 1,5 cm de la vîrful superior, partea de deasupra inelului nu mai formează rădăcini, deoarece cantitatea de auxine este prea mică și se pot forma numai lăstari (fig. 121).

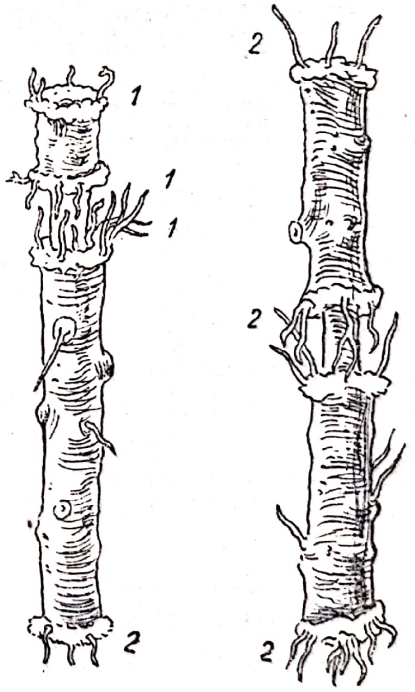


Fig. 121. Butași de plop inelați în partea superioară *(stînga)* și la mijloc *(dreapta)*:
1 — lăsari; 2 — rădăcini

Rolul auxinelor se constată foarte bine la butași de rădăcină de păpădie, în experiența lui Czaja (fig. 122), sau la morcov. Împiedicînd formarea calusului la partea superioară (care este un izvor de auxine) prin tăieri repetate sau ghipsuire, la partea inferioară se

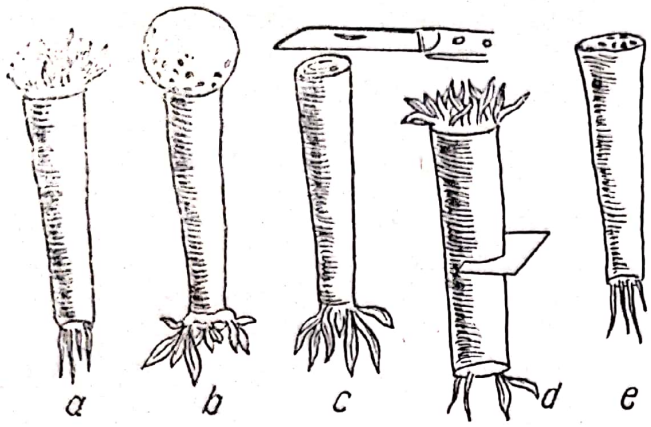


Fig. 122. Experiența lui Czaja la butași de rădăcină de *Taraxacum*:

a — butaș netratat; *b* — butaș cu vîrful în ghips; *c* — vîrful se taie zilnic; *d* — influența vîrfului oprită pe jumătate prin placă metalică; *e* — pe vîrf se aplică pastă de lanolină îmbibată cu heteroauxină

formează lăstari în loc de rădăcini, iar dacă se adaugă artificial auxină, la partea superioară nu se formează lăstari, fiind concentrația prea mare, dar se formează rădăcini la baza inferioară. Din cele arătate rezultă că polaritatea regenerării se datorește circulației în sens polar a auxinelor.

Polarizarea nu are în toate cazurile un caracter atît de fix. La *Hedera*, răsturnarea butașilor aduce cu sine și schimbarea poziției celor doi poli. De asemenea, în viticultură și pomicultură, prin tăieri și cercuiri se schimbă poziția polului superior al lăstarilor.

B. STAREA DE REPAUS LA PLANTE

1. Considerații generale

Celulele, țesuturile, organele sau planta întreagă se pot găsi în stare de activitate sau în stare de repaus. Activitatea cea mai intensă este în zonele de creștere (în meristemele active, în embrionul în stare de germinație). Activitatea cea mai redusă este în semințele uscate, în spori, în mugurii dorminzi, care se găsesc în stare de repaus profund. Între aceste două extreme găsim forme de trecere. Astfel sînt mugurii de iarnă la arbori și erbaceele perene, mugurele terminal în cursul iernii, polenul, „ochii" tuberculelor, bulbii care manifestă o oarecare activitate și la care repausul nu este atît de profund. Urmează celulele mature care nu mai sînt capabile de diviziune și deci de creștere, care în anumite împrejurări (traumatisme, altoiri, ruperea organelor, atac de insecte) pot să intre din nou în stare de diviziune și să dea naștere la un meristem secundar sau celulele țesuturilor de rezervă, care și-au pierdut această capacitate de regenerare în cele mai multe cazuri.

Deci, între starea de activitate și starea de repaus există forme de trecere treptată; cele două stări reprezintă două laturi contradictorii ale vieții plantei.

Starea de activitate se caracterizează prin procese de creștere, deci prin diviziunea celulelor, prin metabolism intens, exprimat în primul rînd prin respirație intensă și prin sensibilitate la excitații externe. Starea de repaus se caracterizează prin suspendarea creșterii, cel puțin în faza de alungire,

Scanned with OKEN Scanner

prin metabolism redus, deci respirație de intensitate minimă, uneori redusă complet (de exemplu, la semințe), prin reacție slabă la excitanți externi.

Plantele sau organele lor în stare de repaus sînt mai rezistente la condiții nefavorabile ca secetă, îngheț, căldură (semințele uscate rezistă la seceta cea mai mare, la temperaturi pînă la 0 absolut, mugurii arborilor la —40°—60°).

Starea de repaus a apărut ca o reacție la condițiile nefavorabile de vegetație. Perioadele secetoase sînt trecute de plante sub formă de semințe, bulbi, rizomi, tubercule, fără frunze, ori în stare generală de repaus.

Perioadele de temperaturi joase sînt trecute în stare de semințe, tubercule și rizomi protejați de pămînt, ori plante verzi protejate de zăpadă, sau plante fără frunze, cu muguri de iarnă, sau plante întregi în stare de rezistență la iernat, care se realizează pe fondul general de stare de repaus.

În cazul mugurilor dorminzi, starea de repaus reprezintă o rezervă potențială de regenerare.

Din cele arătate rezultă că în plante, unele organe sînt în plină activitate, ca vîrful tulpinii și rădăcinii, iar alte organe sînt în repaus, ca mugurii dorminzi, sau în a doua parte a verii — mugurii de iarnă. În perioada de iarnă — la noi — și în perioada secetoasă — la tropice — plantele cad în întregime în stare de repaus.

2. Repausul profund și repausul forțat

Înainte de a arăta cauzele care determină intrarea organelor în repaus, trebuie să menționăm că repausul este uneori determinat de cauze externe, alteori de cauze interne. În primul caz are repaus forțat. Starea de repaus este menținută de lipsa condițiilor de creștere, cum sînt: umiditatea, căldura, oxigenul. Astfel este cazul semințelor de cereale care, în mod obișnuit, sînt în stare de repaus forțat pentru că semințele sînt uscate. Îndată ce primesc apă și temperatură peste minimul necesar germinației și este asigurat accesul oxigenului, după ce s-au îmbibat cu apă încep să germineze, deci începe creșterea embrionului. La fel, dacă se aduce în cameră sau în seră în luna februarie o ramură de cireș ori de liliac și se pune în apă, foarte curînd mugurii pornesc în creștere și se deschid. În alte împrejurări însă, repausul este profund. Astfel, dacă se aduc în seră crengi de arbori în noiembrie sau ianuarie, constatăm că mugurii continuă să rămînă în stare de repaus. La fel cartofii proaspăt recoltați, așezați în nisip umed, nu încolțesc decît după 2—3 luni. La foarte multe plante din flora spontană semințele se găsesc — uneori ani de zile — în stare de repaus profund și nu germinează în condițiile obișnuite de germinație.

Mai trebuie să menționăm că intrarea și ieșirea din repausul profund se fac treptat. În prima parte — repausul poate fi întrerupt ușor. Astfel, la finele verii, prin simpla îndepărtare a frunzelor, mugurii ies din stare de repaus și se produce o nouă înfrunzire, și chiar înflorire. Dacă toamna vremea este deosebit de favorabilă, salcîmul și chiar pomii fructiferi înfloresc a doua oară, ceea ce ne arată că starea de repaus nu este atît de profundă. În lunile noiembrie, decembrie, întreruperea repausului cere agenți mai

puternici artificiali (fizici, chimici, mecanici). În a doua parte a iernii și la începutul primăverii, repausul din nou se întrerupe ușor, de cele mai multe ori prin condițiile obișnuite de creștere.

Rezultă că starea de repaus cu adevărat profund este un proces fiziologic de lungă durată, în care au loc modificări în protoplasmă, în reacțiile biochimice și care au ca urmare o mai mare rezistență împotriva factorilor externi nefavorabili. Durata repausului, caracterul său variază mult la diferite plante, în funcție de natura lor și de condițiile externe. Perioadă lungă de repaus au teiul, mărul și nucul. Perioadă scurtă de repaus au gutuiul, prunul. Foarte scurt este repausul la *Forsythia* și la salcie. Teiul adus în seră nu înfrunzește în perioada august—februarie. În schimb, salcia își întrerupe repausul în orice epocă. La stejar, perioada de repaus este de două luni. Încă în 1906 s-a arătat, la 283 de specii de arbori, că „repausul" profund este în legătură cu originea plantelor. Plantele din China și Japonia au un repaus mai puțin profund decît cele mai din nord, unde clima este mai aspră iarna.

Influența condițiilor de mediu asupra duratei repausului profund se vede mai bine la grîne. Dacă în perioada coacerii temperatura este joasă, „semințele" de cereale cad în repaus pentru timp îndelungat, și uneori trebuie folosite măsuri speciale pentru ca să poată germina în primăvara viitoare.

Intrarea în repaus este favorizată de anumite condiții externe. După cum s-a arătat, temperatura scăzută este unul din factorii care determină intrarea în repaus. Temperatura scăzută încetinește absorbția apei, încetinește procesele de creștere, favorizează acumularea de glucide, care constituie o cauză a încetinirii metabolismului.

În multe cazuri, repausul este însoțit sau precedat de reducerea conținutului în apă (la coacerea lăstarilor la pomi, a corzilor la vița de vie). Se pierde în primul rînd apa „liberă" din protoplasmă, deci apa în care au loc reacțiile chimice. De aici rezultă că metabolismul își încetinește ritmul și celulele trec în stare de repaus.

În unele cazuri, organele sînt foarte bogate în apă (cum sînt tuberculele de cartofi) și totuși se găsesc în repaus. În acest caz, repausul este determinat de starea fermenților — care sînt inactivați fie de un *p*H nefavorabil, fie de substanțe inhibitoare (paralizatori ai fermenților) sau fermenții sînt despărțiți de substrat prin membrane lipoidice.

Din cele arătate rezultă că în celulele în repaus se produc modificări ca răspuns la condițiile externe și care au ca urmare reducerea metabolismului. S-au întreprins numeroase cercetări pentru a stabili natura acestor modificări interne a celulelor în repaus.

3. Cauzele care determină repausul la plante

Primii cercetători au discutat natura însăși a repausului. Astfel, Pfeffer (1904) considera repausul determinat exclusiv de factori interni. O dovadă în acest sens este comportarea stejarului și a fagului, duși din Germania în insulele Madeira, unde continuau să-și scuture frunzele deși

aici nu exista iarnă. Klebs (1917) a fost de părere că repausul depinde exclusiv de factori externi ca lumina, umiditatea, temperatura, hrana din sol. Cercetările ulterioare au arătat că starea de repaus este o însușire dobîndită și fixată ereditar și se modifică sub influența condițiilor de mediu.

Modificările biochimice în organele în repaus au fost studiate și de Borodin (1867), care constata că la mesteacăn, amidonul se transformă în uleiuri vegetale. Peretolcin (1904) a observat transformarea amidonului în uleiuri la tei și transformarea în zahăr la stejar.

În ce privește respirația, Maksimov (1908) a arătat că iarna, la liliac, la —12°, aceasta reprezintă numai 1/200 din respirația la +18 °C. Tot Maksimov (1941) remarcă la organele în repaus un conținut mai mic în apă, aceasta din cauză că în plasmă coloizii devin mai hidrofobi prin îmbogățirea lor cu lipoizi și grăsimi. Modificări în acest sens se produc și în plasmalemă, și anume plasmalema se îmbogățește în fosfatide insolubile, ceea ce micșorează permeabilitatea protoplasmei. Prin aceasta, schimbul de substanțe se reduce, și celulele intră în repaus.

O consecință a caracterului hidrofob al plasmalemei este slaba imbibiție în apă a plasmei în repaus. Îmbogățirea plasmalemei în lipoizi se explică prin eliberarea lipoizilor din combinația lor labilă cu proteinele și așezarea lor în plasmalemă cu gruparea hidrofobă în afară, împiedicîndu-se astfel intrarea apei.

Starea protoplasmei în timpul perioadei de repaus a fost studiată amănunțit de Ghenkel și Oknina (1946, 1948). S-a constatat că în timpul perioadei de repaus, în celulele meristematice, între plasmă și nucleu se stabilește un contact foarte strîns. Limita dintre nucleu și protoplasmă se șterge, și nucleul nu mai are formă regulată. Ghenkel numește această fază ca „proces embriogen", în care se pregătesc condiții pentru creșterea embrionară (fază embrionară a creșterii). Prin acest contact mai intim ar lua naștere acidul dezoxiribonucleic (sau timonucleic), care este component principal al nucleului, și anume prin intermediul acidului ribonucleic care se formează în protoplasmă din substanțe nutritive.

Al doilea proces observat este „individualizarea celulelor" în perioada de repaus, care se constată atît la celulele meristematice, cît și la restul celulelor din plante. În țesuturile în stare activă, protoplasma celulelor este în contact intim prin intermediul plasmodesmelor. În felul acesta se stabilește unitatea întregului organism.

Individualizarea celulelor se produce sub acțiunea nefavorabilă a mediului exterior (temperatură scăzută, fotoperiodism nefavorabil, umiditate redusă). Aceste condiții modifică metabolismul în sensul că se acumulează coloizi hidrofobi, și prin aceasta are loc deshidratarea celulelor. Coloizii hidrofoli, în special lipoizii se acumulează la suprafața plasmei și vacuolei; de aceea permeabilitatea protoplasmei scade. Tot din acest motiv, capacitatea de imbibiție a celulelor se reduce.

La ieșirea din starea de repaus — procesul de repaus fiind reversibil — toate transformările capătă un sens invers. Se restabilesc plasmodesmele, capacitatea de imbibiție a celulelor crește, metabolismul se intensifică.

Individualizarea celulelor se poate stabili prin plasmolizarea lor. În celulele în repaus, plasmoliza trece direct în forma convexă, fără să treacă

Scanned with OKEN Scanner

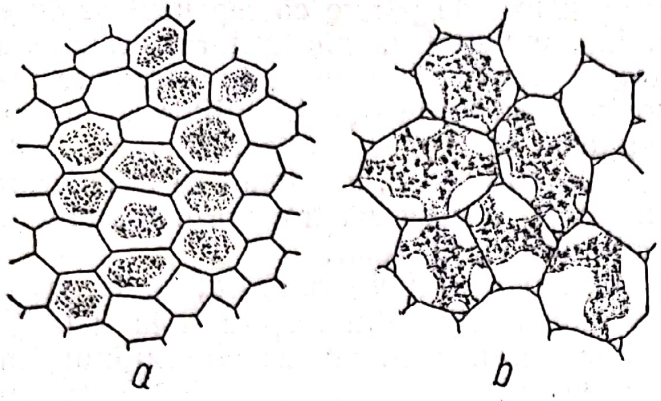


Fig. 123. Forma plasmolizei la celule în repaus *(a)* și în activitate *(b)* la trifoi roșu

prin forma concavă, ceea ce dovedește că protoplasma nu este în contact intim cu membrana celulară (fig. 123).

Repausul profund poate fi prelungit sau întrerupt în mod artificial. În agricultură este necesar, în unele cazuri, să prelungim repausul, alteori să-l întrerupem. Primele aplicări practice s-au realizat în horticultura decorativă. La arbuștii decorativi (ca liliacul) sau la plantele erbaccee (ca lăcrămioarele), pentru a avea flori în mijlocul iernii, cînd aceste plante se găsesc în repaus profund, se intervine prin două procedee : eterizarea și băile calde. Prin ținerea plantelor într-o atmosferă de eter (1/1 000) timp de 24 de ore sau în apă caldă de 35 °C timp de 1—2 zile repausul este întrerupt și mugurii pornesc să crească.

S-au găsit numeroase mijloace de întrerupere a repausului : înțeparea mugurelui, injectarea mugurelui cu apă, fumigația, oxidul de carbon etc., dar aplicare practică au găsit numai cele două metode. Se mai caută să se întrerupă repausul la cartofi pentru a putea fi plantați imediat după recoltare. Cel mai bun procedeu este tratarea, cîteva minute, cu soluție de etilenclorhidrină, săruri de rodan, tiouree. Acțiunea acestor tratamente constă în „dezindividualizarea" celulelor. Acestea restabilesc legăturile între ele prin plasmodesme ; de asemenea distrug substanțele inhibitoare.

Pentru prelungirea repausului (la mugurii pomilor, la cartof) se tratează în special cu esterul metilic al acidului naftilacetic (la cartof) sau se stropesc pomii vara cu sarea de potasiu a aceluiași acid.

La cartofi se pot trata tuberculele sau se stropesc tufele de cartof cu hidrazida acidului maleic.

4. Repausul semințelor

a) *Repausul seminal.* Este determinat de însușirile tegumentelor seminale, de procesul de post-maturație al embrionului sau de lipsa unor condiții speciale de mediu.

La leguminoase și malvacee se întîlnesc semințe „tari", adică semințe cu coaja impermeabilă pentru apă. Aceste semințe germinează numai după 1 an sau mai mulți, timp în care se modifică structura tegumentelor, ce devin mai permeabile. Se pare că în această privință au influență și microorganismele care se așază pe tegumentele seminței.

S-au elaborat metode practice pentru a grăbi germinația semințelor tari. Mai obișnuit se folosește acid sulfuric concentrat, tratamentul durînd cîteva minute (la *Nelumbo*, cîteva ore). După tratament, semințele trebuie spălate cu apă pentru a îndepărta acidul. O altă metodă este tratarea timp

Scanned with OKEN Scanner

de 30—60 de secunde în apă fierbinte, apoi 12 ore în apă rece. Se poate proceda și tratînd de trei ori cîte o secundă în apă fierbinte sau încălzind semințele timp de 2 ore la 80 °C.

Procentul de semințe tari depinde și de condițiile de păstrare : este mai mare în condiții de uscăciune.

La unele specii, ca fasolea, mazărea, existența semințelor tari are ca urmare o germinație întîrziată cu 1—2 săptămîni.

La unele semințe, tegumentele nu sînt permeabile pentru oxigen și bioxid de carbon. Deși se îmbibă cu apă, acestea nu germinează. Astfel este cazul cu *Odos* și *Anthium canadense.* Se poate interveni prin mijloace de mărire a permeabilității tegumentului seminal sau mărind presiunea oxigenului.

La unele semințe întîlnim situația inversă. La *Typha,* semințele nu germinează în aer, dar germinează dacă presiunea oxigenului este redusă, astfel ca aerul să conțină 40—80% hidrogen sau azot. Nu germinează în atmosferă lipsită complet de oxigen. Dacă se îndepărtează coaja, germinează în aer sau în atmosferă cu 90% oxigen.

Procesul de post-maturație la temperaturi joase are loc, în condiții de umiditate, la temperatura de 0—6° timp de cîteva săptămîni sau luni. Apare la semințele diferitelor specii, mai ales lemnoase, din regiunile temperate. Prin îndepărtarea cojii, procesul de post-maturație are loc mai repede, însă plantulele nu sînt viguroase. Prin tratarea lor cu temperaturi joase, își recapătă vigoarea normală.

Înainte de terminarea tratamentului cu frig, semințele sînt sensibile la temperaturi ridicate de 20° și mai mult, în sensul că se anulează acțiunea temperaturilor joase, semințele trecînd din nou în stare de repaus. Astfel ne explicăm caracterul nestabil al germinației multor semințe în natură.

Post-maturația este însoțită de schimbări în activitatea enzimelor respirației și în mersul respirației (coeficientul de respirație).

Aceste modificări, în special a procesului de respirație, ar da naștere la substanțe stimulatoare de creștere sau înlătură un inhibitor. Asemenea inhibitori s-au constatat în endosperm, cotiledoane sau în tegumentul seminței. Prezența inhibitorilor s-a pus în evidență prin diferite experiențe. Astfel, la *Iris,* embrionul izolat de sămînță germinează imediat. Tulpinița de fasole fără cotiledoane nu crește dacă este în contact cu cotiledoane de la semințe de frasin în repaus și crește dacă acestea nu se mai găsesc în repaus.

Procesul de post-maturație este reversibil și semințele pot fi readuse în starea de repaus, prin căldură, în lipsă de oxigen, exces de bioxid de carbon în unele cazuri. Acești diverși agenți ar avea ca efect reducerea respirației aerobe.

Se mai constată că părțile embrionului nu sînt în repaus în aceeași măsură, și dacă procesul de post-maturație nu este terminat, atunci are loc o creștere anormală, mai ales dacă se îndepărtează tegumentele.

Unele semințe, pentru ca să germineze cer temperaturi alternative. Astfel este păstîrnacul, *Poa pratensis.* Variația de temperatură este 20 °,

Scanned with OKEN Scanner

timp de 16—18 ore și 30°, timp de 8—6 ore. Dacă se menține temperatura constantă, germinația este slabă sau se obțin plantule slăbite.

În unele cazuri, regimul cel mai favorabil este de perioade lungi de căldură alternate cu perioade scurte reci. Această alternanță a temperaturilor se consideră că favorizează schimbul de gaze, modificînd presiunea gazelor interioare și gradul de solubilitate al apei din sămînță. Există și o altă explicație. Temperaturile joase favorizează procesele aerobe, iar temperaturile ridicate, procesele anaerobe.

La multe plante ca grîu, orz, ovăz și chiar porumb, cînd semințele sînt proaspăt recoltate, germinația este favorizată de temperaturi ceva mai scăzute: 12—16°. La 20—25°, germinația este slabă. Prin uscare la 40°, timp de o săptămînă sau la 20—30° timp de cîteva săptămîni, semințele vor germina mai bine la temperaturi mai ridicate.

Multe semințe au nevoie de lumină sau întuneric pentru ca să germineze sau pentru ca să germineze repede. Astfel, la *Lobelia inflata,* semințele nu au germinat la întuneric nici după 30—55 de zile, pe cînd expuse la soare, după 9—30 de zile au germinat 23—94%. La tutun, sămînța uscată nu este sensibilă la lumină, dar umectată reacționează la o expunere la lumina solară de numai 0,61 secunde sau la lumina de la lună — 15 minute.

Dintre semințele care cer lumină menționăm ceapa și *Lepidium.*

La *Phacelia tonacetifolia,* semințele germinează numai la întuneric.

La tutun, influența luminii poate fi înlocuită cu temperaturi alternative (8 ore la 5° și 16 ore la 23°) sau prin îndepărtarea cojii. Apa caldă sau apa oxigenată au același efect.

La semințele de salată sînt favorabile radiațiile roșii și portocalii, fiind inhibante razele albastre, violete, verzi și infraroșii.

La unele plante, sămînța nu conține un embrion dezvoltat. Astfel, în sămînța de *Zamia* există numai oul sau ovula și nucleul spermatic necontopite. Pentru formarea embrionului sînt favorabile temperaturile mai ridicate.

La semințele de orhidee este absolut necesară simbioza cu o ciupercă. Semințele de orhidee sînt foarte mici și nu au substanțe de rezervă. Astfel, sămînța de *Schömburgkia undulata* are greutatea de 0,3 gama, adică a 30-a milioana parte dintr-un gram.

Semințele de la *Cattleya* au un embrion minuscul, puțin diferențiat, nu există cotiledoane, iar învelișul este redus. Ca substanță nutritivă se găsesc numai grăsimi. Prin simbioză cu ciuperca se poate folosi materia organică din substratul pe care germinează.

b) *Viabilitatea semințelor și repausul seminal.* Studiile privind viabilitatea semințelor și repausul seminal au o deosebită importanță practică, determinată de necesitatea păstrării îndelungate a semințelor, precum și de necesitatea provocării germinației.

Longevitatea semințelor la plantele cultivate nu este prea mare, de 1—2 sau 5—10 ani. Semințele de ceapă, salată, morcov, conopidă își pierd capacitatea de germinație după 2—3 ani în condiții obișnuite de păstrare, mai ales în regiuni umede. Cerealele și tomatele au longevitate mai mare și după 5—10 ani nu pierd mai mult de 5—20%. Semințele de trifoi, lucernă,

Scanned with OKEN Scanner

mazăre, fasole pot fi păstrate între 10—25 de ani fără să-și micșoreze mult facultatea de germinație. Semințele ținute prea mult timp sau păstrate 1—2 ani în condiții de umiditate au, de obicei, o vigoare slabă, germinează încet și dau naștere la plantule slabe sau anormale.

Condițiile de păstrare influențează mult viabilitatea semințelor. Din acestea, cel mai important este procentul de apă. Cu cît este mai mic, cu atît viabilitatea este mai mare.

Există însă și semințe care nu suportă uscarea, și de aceea au o viabilitate numai de cîteva zile sau cîteva săptămîni. Multe din semințele arborilor din regiunea noastră nu suportă uscarea la temperaturile obișnuite: unii plopi, mesteacănul, stejarii din grupa albă, arțarii, citrușii etc.

Semințele plantelor acvatice își pierd repede viabilitatea dacă sînt supuse la uscare, dar rămîn viabile pentru iarnă sau chiar mai mult dacă se găsesc sub apă și temperatura nu este cu mult peste 0°.

La semințele care suportă uscarea, viabilitatea este în strînsă legătură cu procentul de apă. Cerealele bine uscate se pot păstra între 10—20 de ani.

In ierbare și colecții s-au găsit semințe de la diferite plante, care au mai fost viabile după 100—150 de ani.

Recordul de viabilitate a semințelor este la *Nelumbo nucifera* în condiții de turbă, din care, după 200 de ani, au germinat și au dat naștere la plante perfect sănătoase.

In general, viabilitatea semințelor scade cu timpul de păstrare. La cele care nu suportă uscarea, cauza este însăși această uscare.

La cele care suportă uscarea, se presupun mai multe cauze. O presupunere care s-a dovedit nejustă este consumarea substanțelor de rezervă prin respirație. S-a constatat că după o perioadă lungă de păstrare, semințele conțin cantități mari de substanțe de rezervă.

S-a mai presupus că are loc o denaturare a enzimelor. Amilaza și proteazele și-au păstrat însă activitatea după 11—17 ani, la semințe care și-au pierdut complet viabilitatea. Nici fermenții oxidativi nu și-au pierdut activitatea în acest timp.

O altă cauză se atribuie denaturării proteinelor, care ar avea loc sub acțiunea căldurii.

Rezistența la căldură a semințelor, întocmai ca și capacitatea de păstrare, depind de procentul de apă. Acțiunea căldurii are caracter de prag. Astfel, dacă se micșorează la un anumit procent de apă temperatura care omoară 75% din semințe, cu 3—5° mai jos, semințele rămîn în viață.

Semințele foarte bine uscate suportă temperaturi de 50—100° mai mult timp și temperaturi excesive pentru scurt timp. Semințele de floarea-soarelui, ținute la temperaturi înalte cuprinse între 100—155 °C, care se ridică treptat, pot să germineze încă în proporție de circa 52%.

Uscarea excesivă, temperatura ridicată, păstrarea îndelungată au ca efect o germinație înceată și obținere de plante slăbite și anormale. La grîu și muștar, germinația durează 3 sau 4 zile, iar printr-o uscare excesivă, încălzire sau păstrare îndelungată, germinația durează 10—20 de zile. Plantulele care răsar din asemenea semințe au vitalitate redusă, sînt atacate de microorganisme și arată aberații cromozomale.

Scanned with OKEN Scanner

Procentul de apă din seminţe are importanţă şi la temperatură obişnuită, de la 0—40°. De exemplu, la iarbă *Festuca pratensis,* cînd seminţele au avut 8% umiditate, la 30°, după 64 de săptămîni germinaţia a scăzut numai de la 97 la 93%, iar cînd au avut 10% umiditate, a scăzut la 25%, iar cu 14% umiditate, după 14 săptămîni, scade la 0°. La procent redus de umiditate, temperatura de păstrare nu mai are o importanţă atît de mare. Procentul de umiditate a seminţelor este în strînsă corelaţie cu umiditatea aerului. De procentul de umiditate al seminţelor depinde coagularea proteinelor, intensitatea respiraţiei, ceea ce poate duce la acumularea de substanţe toxice produse de celulele vii din sămînţă sau din ciupercile de la suprafaţa seminţei. Totodată, în unele cazuri, creşte aciditatea, ceea ce grăbeşte moartea embrionului, probabil prin aceea că uşurează coagularea proteinelor. Un argument pentru cele arătate este că seminţele, în condiţii în care lipseşte oxigenul, îşi pierd mai repede viabilitatea.

Viabilitatea seminţelor se exprimă în capacitatea de germinaţie. În cazul seminţelor în stare de repaus sînt necesare însă metode speciale. Acestea se bazează pe faptul că celulele moarte sînt permeabile pentru electroliţii din celule şi pentru coloranţii administraţi dinafară. Colorantul cel mai des folosit este indigo carminul.

5. Germinaţia seminţelor

Sămînţa este plantă nouă, care se dezvoltă încă pe planta mamă.

Gradul de dezvoltare poate să fie diferit. În general, sămînţa are principalele organe formate şi un ţesut cu substanţe de rezervă. După desprinderea seminţei de planta mamă, dacă se găsesc condiţii favorabile şi sămînţa are capacitate de germinaţie, ea germinează, adică embrionul creşte şi rădăciniţa străpunge coaja, după care apare şi tulpiniţa. Creşterea embrionului se face pe seama substanţelor de rezervă din endosperm sau cotiledoane.

Pentru germinaţia seminţelor sînt necesare condiţii generale şi condiţii speciale de mediu.

Condiţiile generale de germinaţie sînt: temperatura, umiditatea, oxigenul.

Condiţiile speciale sînt: lumina sau întunericul, variaţiile de temperatură între zi şi noapte, acţiunea îngheţului.

Capacitatea de germinaţie se manifestă în urma procesului de post-maturaţie, care poate să fie de scurtă durată (cîteva zile) sau de lungă durată (luni şi ani de zile).

La unele seminţe, coaja are o structură care nu permite intrarea apei sau schimbul de gaze, şi seminţele pot să germineze numai după ce se modifică structura cojii, de obicei sub acţiunea microorganismelor, devenind permeabilă pentru apă sau gaze. Capacitatea de germinaţie se păstrează un timp mai scurt sau mai îndelungat după natura plantei. Seminţele care nu suportă uscarea au o capacitate de germinaţie de scurtă durată. Seminţele cu coaja tare au o capacitate de germinaţie de ani şi chiar de sute de ani.

Scanned with OKEN Scanner

Procesul de germinație începe cu absorbția apei. Hidratarea țesuturilor de rezervă este o primă condiție pentru declanșarea proceselor biochimice care sînt, pe de o parte, procese de simplificare și mobilizare a substanțelor de rezervă (care au loc în endosperm sau în cotiledoane), iar pe de altă parte, procese de sinteză de substanțe superioare (proteine, poliglucide etc.) care au loc în embrion. Paralel cu aceste transformări chimice are loc mobilizarea energiei din substanțele de rezervă prin respirație, care atinge în acest caz valorile maxime.

Substanțele de rezervă din endosperm sau cotiledoane au greutatea moleculară mare, și deci nu se pot mobiliza în această stare. Ele se simplifică prin procese de hidroliză în substanțe cu greutate moleculară mai mică, solubile, care pot să circule pînă la embrion. Aceste procese de hidroliză sînt mijlocite de fermenți denumiți hidrolaze.

Proteinele de rezervă sînt descompuse în aminoacizi și amide, iar din acestea, în embrion are loc o resinteză de proteine. Aceste transformări duc la creșterea cantității de nitrogen solubil în semințele care germinează. La semințele fotofile (salata), lumina promovează transformarea proteinelor în nitrogen solubil. Cumarina, care împiedică germinația, frînează această transformare. La semințele de soia s-a putut determina cantitatea de proteaze (hidrolazele proteinelor). Se pare că cumarina anulează activitatea acestor proteaze. În cursul germinației semințelor se formează cantități mari de asparagină, care circulă de la cotiledoane la embrion. Asparagina se formează, așa cum a arătat P r i a n i ș n i k o v, din acid aspartic și amoniac, prin intermediul lui ATP. Asparagina și acidul aspartic și cel glutamic sînt surse de grupări aminice care sînt cedate cetoacizilor, printr-un proces de transaminare.

În timpul germinației are loc și o mobilizare a acizilor nucleici din cotiledoane, constatîndu-se o creștere a cantității de acid dezoxiribonucleic. Se constată totodată activizarea ribonucleazei.

Glucidele de rezervă (amidonul și dextranii) sînt simplificate în zaharuri solubile, care sînt transportate la embrion și servesc ca materie primă pentru respirație și la sinteza celulozei.

Tabloul glucidelor solubile este completat — pe lîngă glucoză, fructoză și zaharoză — de rafinoză și maltotrioză (la semințele de *Lolium* și *Festuca*).

Hidrolizarea amidonului se face prin α și β-amilază. De aceea în timpul germinației crește cantitatea acestor enzime. Sinteza β-amilazei în endosperm se găsește sub controlul embrionului, probabil prin intermediul giberelinei.

La orz, grîu și porumb, scutelumul absoarbe glucoza din endosperm și o transformă în zaharoză, care apoi este transportată la embrion. Lipidele sînt descompuse de diferite lipaze la *p*H-uri diferite. Transformarea grăsimilor în glucide se face prin ciclul acidului glioxilic și prin intermediul enzimelor izocitritaza și malicosintetaza.

Fosforul joacă un rol important în metabolismul germinației. El se găsește depozitat în fitină. Fitina conține 80% din fosforul total al seminței. Restul de 20% se găsește în nucleotide, acizi nucleici, fosfolipide, zaharuri fosforilate, fosfoproteine.

Scanned with OKEN Scanner

Fitina mai conține calciu și magneziu. Degradarea acestei substanțe prin care se mobilizează fosforul necesar respirației se face prin fitază, stabilă la temperatură și cu un *p*H optim 5,4.

Procesele oxidative sînt intense. De aceea schimbul de gaze — oxigen și bioxid de carbon — este intens în cursul germinației.

C. MIȘCĂRILE PLANTELOR

De obicei, în sens restrîns se consideră că mișcarea mecanică este un atribut al animalelor. Acest lucru nu este valabil pentru toate plantele. Organismele inferioare — bacteriile și algele sau gameții la mușchi și ferigi — au mecanisme speciale de deplasare care permit mișcarea liberă în spațiu de la un loc la altul.

Noțiunea de mișcare este mai largă și cuprinde și mișcarea în spațiu a organelor fixate la un capăt, uneori lentă, ca mișcarea plantelor agățătoare, a inflorescenței florii-soarelui, a plantelor volubile, sau mișcarea este rapidă ca la *Mimosa pudica,* ori la plantele carnivore.

Mișcările executate de plante sînt foarte variate, au mecanisme deosebite și sînt cauzate de agenți diferiți. Prin mișcări, planta caută să-și asigure mai bine hrana și să-și găsească cele mai bune condiții de viață, sau își răspîndește semințele sau fructele. Prin mișcări, plantele răspund la schimbările mediului, se adaptează activ la condițiile de viață.

In cazul cînd planta întreagă sau anumite părți din plantă execută mișcări de deplasare, acestea se numesc mișcări locomotorice. Astfel sînt: curenții protoplasmatici, care se pot vedea la microscop în perii de pe filamentele staminelor la *Tradescantia* sau în frunzele de *Elodea*. Curenții protoplasmatici sînt stimulați de schimbarea de lumină sau temperatură, prin răniri sau substanțe chimice. Foarte activă în această privință este histidina, activă chiar în concentrație de 1 mg la 30—80 litri de apă. Mai trebuie remarcat că mișcările se produc numai în prezența oxigenului. Curenții protoplasmatici au fost studiați la noi de prof. E. P o p, care a găsit că sînt foarte frecvenți la plante din familia labiatelor. De asemenea, a constatat că curenții protoplasmatici nu se întîlnesc în meristeme, probabil din cauza densității mari a protoplasmei. Curenții protoplasmatici au un rol deosebit în transportul substanțelor.

In această categorie de mișcări intră și mișcarea cloroplastelor. In lumină slabă, cloroplastele sînt așezate cu suprafața perpendicular pe direcția luminii. In lumină intensă, se strîng lîngă pereții celulei și se așază în așa fel ca lumina să cadă pe partea îngustă a cloroplastelor. Astfel se evită acțiunea dăunătoare a unei lumini prea intense. Această mișcare se vede bine la frunzele de *Geranium*. La lumină difuză, frunza acestei plante este mai verde decît în lumină intensă.

Plantele inferioare, gameții și zoosporii lor execută mișcări adevărate, deplasîndu-se în spațiu; mișcările lor se numesc *taxii*. Prin aceste taxii, ele ajung în cele mai bune condiții de viață. In cazul fototaxiilor, la alge și flagelate, mișcarea constă în daplasarea înspre sursa de lumină sau înde-

Scanned with OKEN Scanner

părtarea de această lumină. Chemotaxiile sînt determinate de concentrația inegală a substanțelor chimice. Astfel de mișcări fac bacteriile aerobe, care se îndreaptă spre sursa de oxigen. Tot asemenea mișcări fac gameții masculi de la ferigi, care sînt atrași de acidul malic. Cei de la mușchii hepatici sînt atrași de proteină, iar de la mușchii frunzoși de zaharoză.

Mișcările pe care le fac organele plantelor (tulpina, frunza, florile, rădăcina) constau în curbarea organelor, ca un răspuns la acțiunea mediului și sînt denumite mișcări de curbură. Curbura se datorește alungirii sau scurtării inegale a părților organelor.

Mișcări de curbură întîlnim atît la țesuturi moarte, cît și la țesuturi vii. Primele au importanță la răspîndirea semințelor și sporilor sau la îngroparea fructelor în pămînt. Mecanismul acestor mișcări se bazează pe imbibiția inegală cu apă a țesuturilor. Într-o parte, imbibiția este mai mare decît în partea opusă. Aceasta duce la curburi care răspîndesc, de exemplu, sporii *Equisetum*, în cazul semințelor de *Stipa;* imbibiția și desimbibiția favorizează îngroparea semințelor în pămînt.

Imbibiția inegală a țesuturilor duce la tensiuni mari, care se pot termina cu rupturi și aruncarea conținutului organelor, cum se întîmplă la *Impatiens noli-tangere, Ecbalium,* la ascii etc.

La plante se întîlnesc și alte mișcări numite *nutații.* Vîrful la multe plante în creștere execută mișcări în spirală, numite circumnutații. Vîrful plantelor volubile sau agățătoare execută de asemenea nutații în căutarea unui suport. Se datoresc creșterii alternative a părților lăstarului. Nutațiile sînt mișcări autonome, depinzînd de factori interni ; ele au fost amănunțit studiate de Em. C. Teodorescu.

Cele mai frecvente și variate sînt mișcările de *excitație.*

Organele excitate răspund prin curbarea lor. În unele cazuri, curburile sînt orientate pe direcția excitantului, alteori nu sînt orientate.

Mișcările orientate se numesc *tropisme* și sînt în legătură cu creșterea organelor, deci sînt localizate la organele în creștere. Rolul biologic al acestor mișcări este de a aduce organele plantelor în cea mai bună poziție față de un excitant extern. Dacă organul în creștere se curbează înspre excitant, tropismul este pozitiv ; dacă se îndreaptă în direcția opusă, tropismul este negativ ; dacă se așază perpendicular pe direcția excitantului, este plagio sau diatropism.

Tropismele iau naștere cînd excitantul acționează dintr-o parte asupra organului întreg, deci cînd intensitatea excitației nu este aceeași în mediul înconjurător, curbura se produce ca urmare a creșterii inegale a părții expuse față de partea opusă excitantului. Pentru ca să se producă mișcarea tropică, excitantul trebuie să fie de o anumită intensitate (minimum de intensitate).

1. Tropismele

a) *Geotropismul.* Dacă tulpina, rădăcina sau pedunculul floral se găsesc în poziție orizontală, în zona de creștere a acestor organe se produce o excitație care determină o creștere inegală a părții inferioare față de

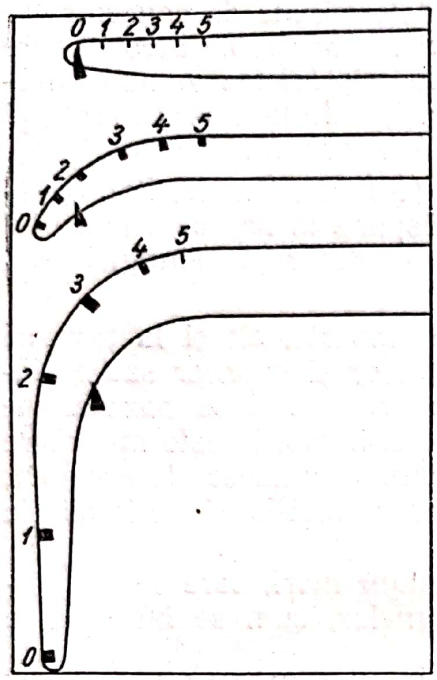


Fig. 124. Geotropism pozitiv la rădăcină

partea superioară, producîndu-se o curbură geotropică; rădăcina se îndreaptă în jos, tulpina și pedunculul floral în sus. La o rădăciniță, această mișcare se face destul de repede, aproximativ după 15 minute. Rădăcina se îndreaptă în jos și are geotropism pozitiv, tulpina se îndreaptă în sus și are un geotropism negativ.

Pentru a stabili care este zona unde se face curbura (zona de reacție), se înseamnă rădăcinița cu semne de tuș din 2 în 2 mm. După ce s-a produs curbura geotropică, constatăm că cea mai mare curbură se face în porțiunea a treia, adică în zona de întindere a celulelor (fig. 124). În această zonă, partea inferioară crește mai puțin decît partea superioară. În cazul geotropismului, excitantul extern este gravitația. Dovadă în acest sens este înlocuirea gravitației cu forța centrifugală, cînd rădăcina se îndreaptă centrifugal, iar tulpina centripetal.

Pentru a se produce mișcarea geotropică este nevoie de un timp minim de expoziție, numit *timp de prezentare*. Datorită acestui fapt, putem să înlăturăm acțiunea gravitației, fără să o înlocuim cu o altă forță, dovedind astfel că gravitatea este cauza mișcărilor geotropice. Pentru aceasta, planta se așază orizontal și se învîrte foarte încet, cam zece învîrtituri pe oră. Aparatele folosite în acest scop se numesc clinostate (fig. 125). Cu ajutorul acestor aparate s-a stabilit că dacă învîrtim planta, iar prin aceasta evităm să se producă o excitație (expunerea este sub timpul de prezentare), nu se produce nici o curbură și planta continuă să crească în direcție orizontală.

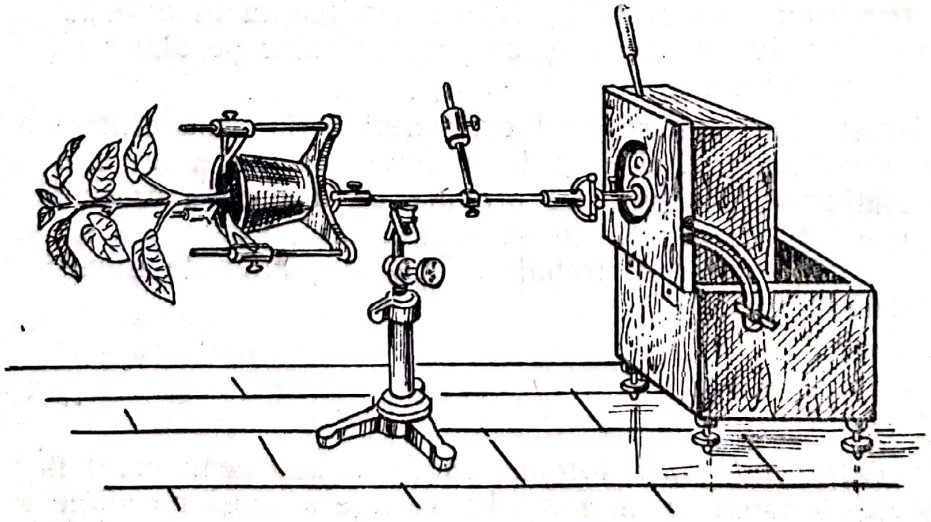


Fig. 125. Clinostat

Scanned with OKEN Scanner

Cu ajutorul semnelor de tuș s-a stabilit că zona de reacție coincide cu zona de întindere. In această zonă, planta reacționează la excitația produsă de forța de gravitație. Zona de percepție a excitației nu coincide însă cu zona de reacție. Zona de percepție se găsește în vîrful rădăcinii, pe o porțiune de 1—2 mm ; este zona de unde au loc diviziunile celulare și unde se produce auxină „liberă".

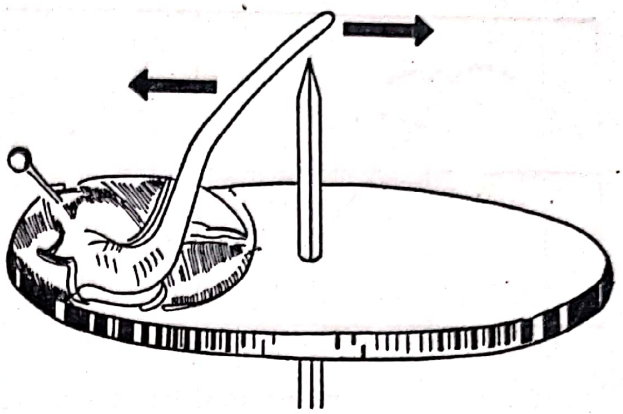


Fig. 126. Experiența lui P i c c a r d. Săgețile indică acțiunea forței centrifuge. Locul de percepere al forței centrifuge este vîrful, unde iau naștere auxinele

De aceea, dacă se taie vîrful rădăcinii, ea nu reacționează geotropic și rămîne în poziție orizontală. Sensibilitatea vîrfului se poate demonstra și prin experiența lui P i c c a r d (fig. 126). Dacă se așază rădăcina unei semințe încolțite astfel ca să treacă de axa centrifugală numai cu 1—2 mm, atunci curbura se produce în direcția în care acționează forța centrifugală asupra vîrfului, deși în zona de întindere (de reacție), sensul acțiunii forței centrifugale este invers.

La tulpină și coleoptile, curbura geostropică se produce în același fel, adică se datorește unei creșteri inegale, dar în sens invers decît la rădăcină. Aici crește mai mult partea inferioară decît partea superioară. Tot așa se întîmplă și la gramineele căzute, la partea inferioară a internodiilor.

Rădăcinile secundare, lăstarii laterali și frunzele iau o poziție orizontală sau înclinată față de direcția rădăcinii principale sau a tulpinii. Această orientare se numește *plagiotropism*. Este interesant că frunzele își păstrează poziția orizontală numai dacă au fața superioară în sus ; dacă se ține frunza răsturnată, atunci pețiolul se răsucește pînă cînd frunza ajunge în poziție normală.

Plantele volubile, pînă cînd găsesc un suport, fac mișcări automate de nutație (determinate de factori interni). Indată ce au găsit un suport, se înfășoară în jurul acestuia printr-o mișcare lateral-geotropică. Și în cazul tulpinilor volubile acționează un geotropism negativ, deoarece ele nu se înfășoară pe un suport îndreptat în jos sau orizontal. Sensul mișcării este în general bine determinat, și la majoritatea plantelor volubile este spre stînga. Importanța mișcărilor plantelor volubile este de a aduce frunzele cît mai repede la lumină, și pentru aceasta, tulpinile sînt subțiri, ca să nu se cheltuiască multă substanță vegetală și în felul acesta să se poată ridica pînă la coroana arborilor. Plantele volubile sînt mult răspîndite în pădurile tropicale.

Mecanismul geotropismului. Tropismele sînt mișcări legate de creștere, de stimularea creșterii, pe de o parte, a organelor în creștere și de inhibare sau slăbire a creșterii, pe de altă parte. Stimularea sau inhibarea creșterii se face de către auxine. Totul depinde de concentrația auxinelor și de felul organului. In concentrație prea mare pentru organul respectiv, creșterea

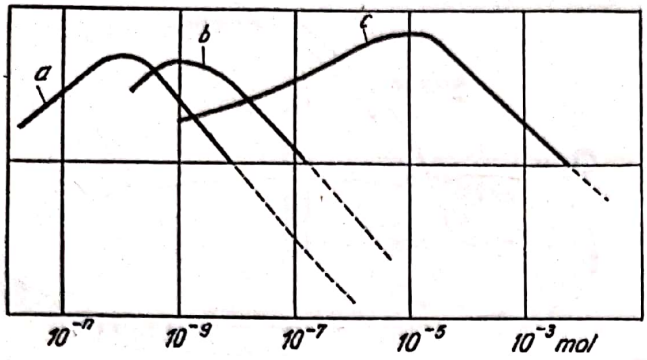


Fig. 127. Acțiunea stimulatoare și inhibitoare a auxinelor în funcție de concentrație la diferite organe: *a* — rădăcină; *b* — muguri; *c* — lăstari

este încetinită, iar în concentrație optimă este stimulată.

Cercetările lui Holodnîi și Went au arătat că în partea inferioară a rădăcinii și tulpinii, așezate orizontal, auxina se concentrează prin deplasarea sa transversală din partea superioară în partea inferioară. Captînd separat auxina din partea superioară și separat din partea inferioară, se constată că în partea inferioară se adună mai multă auxină. Rădăcina suportă o concentrație de auxină mult mai mică decît tulpina. Pentru rădăcină, concentrația de auxină pe partea inferioară este inhibitoare, iar pentru tulpină este stimulatoare (fig. 127). De aceea, rădăcina se curbează în jos, iar tulpina în sus. La *Vicia faba,* raportul între cantitatea de auxină în partea inferioară a rădăcinii față de partea superioară este de 3 : 2 sau 2 : 1. La fel s-a găsit și la coleoptilul de ovăz și porumb.

Importanța auxinelor în mișcările geotropice se dovedește și prin schimbarea reacției organelor, dacă în acestea se introduce suplimentar auxină. Astfel, tulpinile de roșii, floarea-soarelui, tutun, *Cosmos,* ținute orizontal și îmbogățite în auxină în mod artificial, au avut un geotropism pozitiv, deoarece concentrarea pe partea inferioară a depășit optimul.

Reacția geotropică a organelor nu este un caracter rigid, independent de condițiile de mediu. Mediul exterior poate să schimbe sensul sau sensibilitatea la excitația geotropică. Astfel, multe plante au, primăvara, cît timpul este rece, tulpinile culcate; deci nu au geotropism negativ. Îndată ce vremea se încălzește, tulpinile devin sensibile și se ridică în sus.

La mac, *Cyclamen* și altele, bobocii atîrnă în jos, dar cînd florile se deschid, se ridică în sus. Deci la început au avut geotropism pozitiv, apoi geotropism negativ. Determinîndu-se concentrația de auxină, s-a constatat că în bobocii aplecați în jos, concentrația este mult mai mare decît în flori sau fructe.

Auxinele circulă, de regulă, în sens bazipetal și nu circulă în sens transversal. În cazul tropismelor, deplasarea auxinelor se face însă în sens transversal. Cauza acestei deplasări transversale este diferența de potențial electric care se produce în organele așezate orizontal. Diferența este de 5—20 mV. Partea inferioară are încărcătură electrică pozitivă, iar partea superioară negativă. Auxina fiind un anion, se va îndrepta înspre polul pozitiv, deci se va acumula în partea inferioară a organelor.

b) *Fototropismul.* Orientarea organelor înspre lumină sau în direcția opusă, cînd lumina este în cantitate mai mare pe o parte a organelor în creștere, se numește fototropism.

Foarte sensibile la lumină sînt coleoptilele de ovăz etiolate la întuneric; dacă primesc lumină numai dintr-o parte, după 15—30 de minute, se

poate observa că încep să se curbeze înspre sursa de lumină. Curbarea începe de la vîrf și se transmite înspre baza organului, astfel că pînă la urmă, vîrful se găsește în direcția luminii.

Coleoptilul, tulpina, pețiolul frunzelor, sporangioforii se îndreaptă spre lumină ; au deci un fototropism pozitiv.

Frunzele se așază în multe cazuri perpendicular pe direcția luminii ; manifestă deci un *plagiofototropism.*

La cele mai multe plante, rădăcinile sînt indiferente față de lumină ; fac excepție mușatarul și rădăcinile embrionare de floarea-soarelui, care au fototropism negativ.

Nu totdeauna frunzele se așază perpendicular pe lumină. La plantele „compas", ca *Lactuca scariola, Eucalyptus,* cînd lumina este intensă, frunzele se așază oblic pe direcția luminii, evitînd astfel o insolație prea puternică.

Din cele arătate rezultă că prin fototropism, plantele își aduc frunzele în cea mai bună poziție pentru activitatea lor normală (în primul rînd pentru fotosinteză). Mișcarea frunzelor se datorește curbării pețiolului, care are un fototropism pozitiv ; este interesant însă că pețiolul nu reacționează decît dacă primește auxina din lamina frunzei. Dacă se îndepărtează lamina, pețiolul reacționează foarte slab.

Mecanismul fototropismului. Fototropismul se datorește unei creșteri inegale pe fața expusă, în comparație cu fața opusă luminii. Partea tulpinii expusă la lumină crește mai puțin, partea opusă crește mai mult. Se știe că lumina încetinește creșterea : plantele la lumină cresc mai puțin decît la întuneric. Așa s-a explicat la început fototropismul. Dar analiza mai detaliată a fototropismului a arătat că *zona sensibilă* nu corespunde cu *zona de reacție.* Tulpina este sensibilă în vîrf, într-o zonă foarte scurtă. S-a mai constatat că lumina acționează prin intermediul auxinelor. Studiile s-au făcut în special la coleoptile de ovăz. S-a constatat că în partea luminată este mai puțină auxină decît în partea neluminată, în raport de 1 : 2 sau chiar 1 : 5. Necoincidența dintre zona sensibilă (de percepție) și zona de reacție a fost stabilită pentru prima dată de către Charles Darwin. Darwin a observat că prin acoperirea vîrfului coleoptilului cu staniol, nu se mai produce o curbură fototropică, deși cea mai mare parte a coleoptilului este luminată. Dacă se lasă expus vîrful la lumină și restul coleoptilului este acoperit (îngropat în nisip), curbura se produce în partea acoperită, deci chiar în nisip (fig. 128). Din această experiență, Darwin a ajuns la concluzia că din vîrful coleoptilului curge un „stimul" care excită zona de întindere și că acest stimul ia naștere în vîrf. Mai tîrziu s-a stabilit că „excitantul" care se transmite din vîrful coleoptilului este o substanță, deoarece excitația nu se transmite printr-o placă de mică.

Punctul cel mai sensibil la lumină este vîrful coleoptilului ; pe o porțiune de 50 microni, sensibilitatea scade treptat pînă la 3 mm.

Lumina are o acțiune dublă : determină deplasarea auxinelor din zona luminată în zona neluminată și distruge o parte din auxine. La coleoptile de ovăz, cu vîrful despicat de o placă de sticlă, dacă placa este așezată

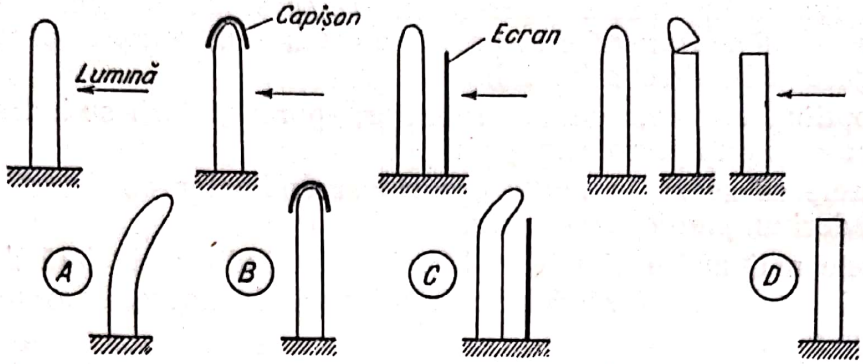


Fig. 128. Cercetări fototropice asupra coleoptilelor de *Phalaris* și rolul auxinelor în fototropism (după D a r w i n):
A — martor; *B* — acoperirea împiedică creșterea; *C* — acoperirea coleoptilului cu vîrf liber nu împiedică creșterea; *D* — coleoptilele decapitate nu reacționează fototropic

oblic pe lumină, coleoptilul se curbează, dacă este orientată perpendicular pe lumină, nu se produce curbura fototropică. În primul caz, auxinele au putut să treacă în partea opusă, iar în al doilea caz, deplasarea a fost oprită de placa de sticlă.

Dacă se captează cantitatea de auxină din partea luminată și din partea neluminată, se constată că în partea luminată este mai puțină auxină.

Mecanismul fototropismului și geotropismului nu a putut să fie explicat multă vreme și a dat naștere la multe teorii neștiințifice vitaliste. Este meritul lui H o l o d n î i și W e n t de a fi arătat că atît la geotropism, cît și la fototropism, mecanismul mișcărilor se datorește concentrării inegale a auxinelor în organele de creștere. Dacă partea neluminată conține mai multă auxină, va crește mai mult și coleoptilul, sau tulpina se va curba înspre sursa de lumină.

Nu toate radiațiile de lumină pot să provoace curburi fototropice. La coleptilele de ovăz, maximum de reacție este în lumina albastră și violetă; partea roșie nu provoacă curburi fototropice.

Curbura se produce, ca și la geotropism, în zona de întindere care reprezintă, prin urmare, *zona de reacție*.

La fototropism și geotropism este aplicabilă *legea cantității excitației*. Pentru a se produce o curbură fototropică, planta trebuie să primească dintr-o parte un număr determinat de cuante care rezultă din produsul timpului de expunere înmulțit cu intensitatea luminii. Astfel, 25 L x într-o secundă au același efect ca 1 L x timp de 25 secunde. În caz că lumina cade pe ambele părți, trebuie să fie un minim de diferență între cele două părți. La *Phycomices*, partea unde se produce curbura trebuie să primească cu 1/5 mai multă lumină decît partea opusă.

c) *Chimiotropismul*. Curburile cauzate de concentrația inegală a diferitelor substanțe se datoresc chimiotropismului. Rădăcinile au un chimiotropism negativ la cationi și pozitiv la anioni. Foarte evident este chimiotropismul la tubul polinic. Acesta se orientează după prezența zaharurilor și a substanțelor secretate de ovar. Hifele ciupercilor se orientează

mai ales după substanțe azotate ca aminoacizi, peptone, amide, combinații amoniacale. Mișcări chimiotropice au și tentaculele de captare a insectelor de la *Drosera,* care sînt atrase îndeosebi de produșii de descompunere ai proteinelor.

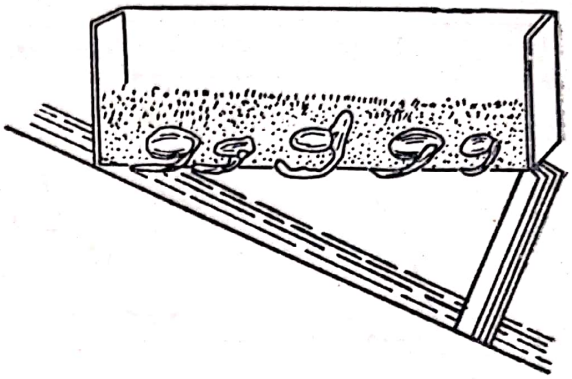


Fig. 129. Hidrotropismul la rădăcini

d) *Traumatotropismul* este cauzat de excitația produsă de rănirea organelor. Dacă se face o incizie transversală în vîrful rădăcinii, în zona de întindere se produce o curbură negativă. Traumatotropismul pozitiv îl găsim la coleoptilele de ovăz, la tulpinile tinere de bob, la pețiolul frunzelor. În cazul coleoptilelor, incizia transversală oprește circulația auxinelor în partea rănită, și de aceea se produce o curbură pozitivă. Coleoptilele decapitate nu reacționează. În rădăcină, reacția este negativă pentru că aici concentrația de auxine este, de obicei, supraoptimală, iar incizia micșorează concentrația de auxină, și prin aceasta se stimulează creșterea părții rănite.

e) *Haptotropismul* este mișcarea de răsucire a cîrceilor cînd întîlnesc un obiect solid, deci are loc o excitație mecanică. Un fir de bumbac poate provoca răsucirea cîrceilor, dar aceasta nu se produce la picăturile de ploaie. Percepția excitației se face de către papile cu plasmă, plasate în epidermă.

Cu ajutorul unei paste de auxină se poate provoca răsucirea cîrceilor. Excitația mecanică a protoplasmei determină o deplasare a auxinelor în partea opusă, și prin aceasta o reacție pozitivă a cîrceilor.

f) *Hidrotropismul* se observă mai bine la rădăcini. Acestea se îndreaptă spre locul cu mai multă umiditate. După ce rădăcina ajunge într-un mediu uniform umed, din nou se îndreaptă în jos sub influența gravității (fig. 129).

2. Nastiile

Spre deosebire de tropisme, care sînt mișcări orientate, nastiile sînt mișcări neorientate. Excitantul acționează din toate părțile, și excitația este provocată de o schimbare în intensitatea excitantului. De exemplu, lumîna slabă este înlocuită de o lumină puternică, temperatura joasă de temperatura ridicată.

Nastiile pot fi mișcări de creștere și mișcări de turgescență. În primul caz se datoresc creșterilor inegale, în al doilea caz modificărilor în turgescența celulelor. Nastii de creștere sînt *termonastiile și fotonastiile.*

Termonastii întîlnim la floarea de *Tulipa, Crocus, Eranthus.* Deschiderea florilor la aceste plante are loc numai dacă temperatura aerului este mai ridicată; dacă temperatura crește, partea internă (superioară) a petalelor crește mai repede decît partea externă (inferioară), după cum se vede din figura 130. Reacția este destul de rapidă; astfel, florile de *Crocus* se

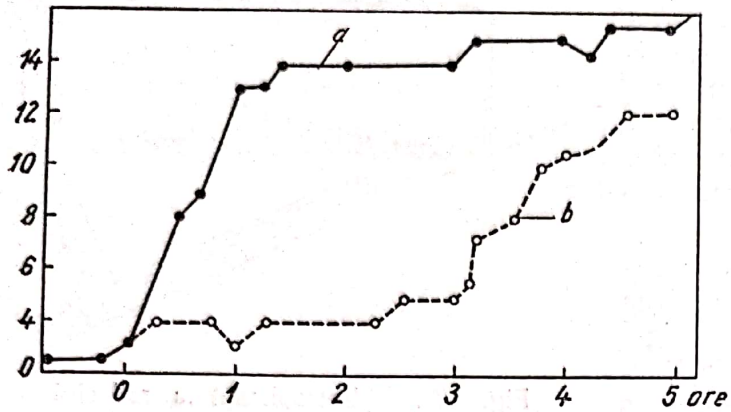


Fig. 130. Intensitatea creşterii unei petale de *Crocus* ce a fost adusă de la temperatura de 9,8 °C la 20,8 °C: *a* — faţa superioară a frunzei; *b* — faţa inferioară a frunzei

deschid în cîteva minute la 15—20°. Reacţia este foarte sensibilă, deoarece se constată deosebiri chiar numai la 1/2 grad de temperatură.

La *Compositae* (păpădia), *Cactaceae* şi altele, lumina este factorul care determină deschiderea florilor. Deci la aceste plante se produc fotonastii.

La păpădie, inflorescenţele se deschid numai la lumină; pe vreme ploioasă sînt închise. La *Nicotiana silvestris,* florile se deschid seara cînd sînt vizitate de fluturii de noapte. Este evident că prin nastiile descrise, florile se deschid în cele mai bune condiţii de polenizare şi fecundare.

Nastiile provocate de modificări de turgescenţă sînt *nictinastii* şi *seismonastii.* Mişcările frunzelor la leguminoase (trifoi, fasole, salcîm etc.) (fig. 131), ca şi la *Oxalis acetosella,* sînt de asemenea nictinastii. Ziua, foliolele frunzelor sînt în poziţie orizontală sau, dacă lumina este foarte puternică, chiar puţin ridicate oblic în sus. Noaptea însă frunzele şi foliolele se lasă în jos şi toată planta are un aspect denumit „somnul plantelor". Mecanismul ridicării şi coborîrii foliolelor şi frunzelor se face de la articulaţia peţiolului sau a foliolei. În aceste articulaţii se produc modificări inegale de turgescenţă, şi organul se apleacă înspre partea în care s-a redus turgescenţa. Modificarea de turgescenţă este determinată de alternarea zilei cu noaptea.

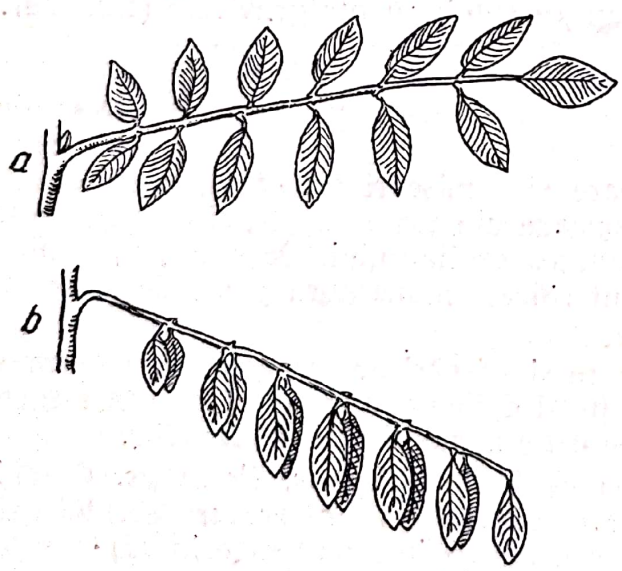


Fig. 131. Nictinastii la frunze de salcîm: *a* — poziţia în timpul zilei; *b* — poziţia în timpul nopţii

Seismonastiile cele mai cunoscute şi mai surprinzătoare sînt la frunzele de *Mimosa pudica.* Se mai întîlnesc la staminele de *Berberis, Portulaca, Centaurea.* Seismonastiile sînt determinate de o excitaţie mecanică. La *Mimosa sensitiva,* în urma unei atingeri, în articulaţiile în formă de periniţă de la baza peţiolului comun (fig. 132) şi de la fiecare foliolă se produc modificări de turgescenţă. La peţiolul central se micşorează turgescenţa în partea inferioară, la baza foliolelor în partea superioară.

Scanned with OKEN Scanner

De aceea, frunzele se lasă în jos, iar foliolele se ridică în sus și se unesc două cîte două. Excitația nu se mărginește la frunza atinsă, ci se transmite și la alte frunze, iar dacă este destul de puternică — la planta întreagă. Excitația se transmite prin intermediul unui acid. Revenirea frunzelor în poziție normală se face după aproximativ jumătate de oră.

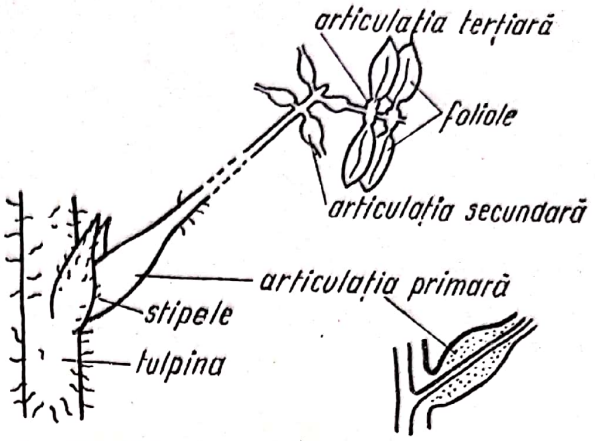


Fig. 132. Schema unei frunze de *Mimosa sensitiva* cu articulații în formă de penișe la baza pețiolului principal, secundar și la baza foliolelor.

La *Dionaea*, mișcarea seismonastică are loc atît de repede, încît insectele care s-au așezat pe frunză nu au timp să zboare, ci sînt prinse între cele două părți ale frunzei închise. La *Berberis vulgaris*, staminele atinse se îndreaptă spre interior și scutură polenul pe insecta intrată în floare. La *Centauree*, atingerea filamentelor staminale produce contractarea bruscă a acestora și ieșirea stigmatului din tubul format de anterele concrescute.

În ce privește mecanismul mișcării, se cunoaște că la *Mimosa* nu are loc nici o excitație sub 15° și peste 40°. Același efect îl au narcoticele și lipsa de oxigen. Mișcarea constă în destinderea pereților celulari în partea unde s-a micșorat presiunea de turgescență, datorită ieșirii apei din celule.

Această parte se scurtează și atrage în această direcție foliola sau frunza. Ieșirea apei este cauzată de modificarea permeabilității protoplasmei. Excitația se transmite printr-un acid format în zona de excitație și care este activ chiar într-o concentrație de 1 : 100 000 000. Excitația se poate transmite chiar cu o viteză de 2 m pe secundă.

BIBLIOGRAFIE

1. Anghel, Gh., *Determinarea facultății germinative a semințelor în laborator*, București, Ed. Acad. R.P.R. 1953.
2. Chirilei, H., *Acțiunea stimulantă a acidului 2,4 diclorfenoxiacetic asupra înrădăcinării butașilor verzi de lămîi (Citrus limonium)* în „Comunicările Academiei R.P.R.", București, 1953, t. III, nr. 1—2.
3. Chirilei, H., *Influența acizilor 2,4 — diclorfenoxiacetic și beta-naftoxiacetic asupra înrădăcinării unor butași lignificați*, în „Buletinul științific al Academiei R.P.R." București, 1952, t. IV, nr. 2.
4. Crocker, W. și Barton, V. I., *Fiziologhia semean*, Moscova, 1925.
5. Ermilov, B. C., *Planta și lumina*, București, Ed. agro-silvică, 1954 (traducere din l. rusă).
6. *Handbuch der Pflanzenphysiologie*, vol. XV. Berlin — Göttingen, Heidelberg, 1960.
7. Holodnîi, G. N., *Fitogormonî*, Kiev, 1939.

Scanned with OKEN Scanner

8. Jeanrenaud, E. și Soare, Fl., *Determinarea acțiunii fiziologice asupra plantelor a unor derivați ai acizilor fenoxiacetic, guaiacoxiacetic și naftoxiacetic,* în „Analele șt. Univ. „Alex. I. Cuza" din Iași", 1956, t. II. fasc. 2.
9. Jeanrenaud, E. și Siminiuc, E., *Determinarea activității fiziologice a derivaților clorurați ai acidului guaiacoxiacetic,* în „Analele șt. Univ. „Al. I. Cuza" din Iași", 1957, t. III, fasc. 1—2.
10. Jeanrenaud, E., *Notă asupra creșterii, dezvoltării și recoltei cîtorva plante agricole, sub influența unor derivați ai acizilor fenoxiacetic, guaiacoxiacetic și naftoxiacetic,* în „Analele șt. Univ. „Al. I. Cuza" din Iași", 1960, t. VI, fasc. 2.
11. Maksimov, A. N., *Fiziologia plantelor,* București, Ed. agro-silvică, 1951 (trad. din l. rusă).
12. Pillet, P. F., *Les phitohormones de croissance,* Paris, 1961.
13. Rubin, B. A., *Phiziologhia rastenîi,* Moscova, 1961.

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul VIII

DEZVOLTAREA INDIVIDUALĂ A PLANTELOR

Definiție, istoric, caracteristici generale

Studiul dezvoltării individuale a plantelor este relativ de dată recentă, dar se caracterizează prin progrese remarcabile. Obiectul principal al cercetărilor este *temperatura* și *lumina* ca factori ai dezvoltării plantelor.

Prin *dezvoltarea individuală* se înțelege evoluția individului, începînd cu diviziunea zigotului pînă la formarea de sămînță. Într-un sens mai larg, dezvoltarea este evoluția unui individ de la naștere și pînă la moartea lui.

Dezvoltarea individului are loc în etape, în stadii, fiecare reprezentînd o stare fiziologică nouă, cu o bază biochimică proprie și care se manifestă în anumite procese morfologice.

Studiul procesului individual de dezvoltare are ca scop final elaborarea de metode și procedee de dirijare a procesului în sensul modificării (prelungirii sau scurtării) perioadei de vegetație, grăbirea, întîrzirea sau excluderea procesului de înflorire și fructificare, schimbarea „sezonului" de fructificare sau extinderea acestuia pe întreg anul. Parte din aceste scopuri sînt deja realizabile.

Din cele arătate se explică ușor interesul deosebit pentru aceste lucrări arătat de agronomi și cultivatori, care, prin aplicație în producție, prin observații asupra culturilor, au adus contribuții valoroase la dezvoltarea rapidă a acestui domeniu de cercetare. Este exemplul cel mai fructuos de colaborare între știință și practică în domeniul fiziologiei plantelor.

Dezvoltarea individuală a plantelor și importanța factorilor mediului exterior

Înainte de cercetările lui K l e b s, dezvoltarea individuală era considerată ca un proces exclusiv autonom, neinfluențat în mod hotărîtor de factorii de mediu.

K l e b s (1896—1903) a dovedit pentru prima dată prin numeroase cercetări, la plantele inferioare și superioare, că factorii de mediu de

Scanned with OKEN Scanner

intensitatea obișnuită, deci care variază între limitele obișnuite din natură, pot avea un rol decisiv în desfășurarea (grăbirea sau întîrzierea) procesului de dezvoltare. Deci, procesul de dezvoltare a plantelor este bine adaptat condițiilor de mediu.

În esență, concepția lui K l e b s despre dezvoltarea individuală a plantelor se reduce la următoarea schemă : în anumite condiții de mediu, plantele se găsesc în starea fiziologică denumită „vegetativă", în care apar succesiv, în procesul de creștere, organe vegetative. În alte condiții de mediu se trece de la starea „vegetativă" la starea fiziologică generativă, în care plantele dau naștere la organe de reproducere. Fiecare stare fiziologică se caracterizează printr-un anumit raport între substanțele nutritive fundamentale : glucide, substanțe azotate. În starea vegetativă predomină substanțele azotate ; în strea generativă, glucidele. Factorii de mediu (lumina, nutriția minerală, aprovizionarea cu apă etc.), într-o anumită combinație și intensitate, determină raportul într-un sens, în altă combinație în intensitate, în celălalt sens.

Concepția lui K l e b s nu mai are decît o valoare istorică. Cercetările au dovedit că raportul glucide-substanțe azotate nu este hotărîtor pentru dezvoltarea plantelor. Klebs a susținut și unele idei greșite, ca „reversibilitatea" absolută și determinată arbitrar a dezvoltării individuale. Greșită este și concepția sa despre factorii externi ca „excitanți". Deci, în esență, după Klebs, procesul dezvoltării individuale este totuși autonom.

O altă teorie a dezvoltării este cea *hormonală*. I. S a c h s (1863), pe baza unor experiențe cu *Begonia, Tropaeolum majus,* ajunge la concluzia că pentru formarea florilor este nevoie de o substanță specială, producătoare de flori. După M. H. C e a i l a h i a n (1937), substanța producătoare de flori este florigenul sau antezina, care se formează sub influența luminii. După N. H. H o l o d n î i (1939—1950), hormonul de creștere care se acumulează în endospermul semințelor în cursul germinației migrează în embrion și determină înfloritul plantelor.

N. P. K r e n k e consideră că procesul dezvoltării ontogenetice a plantelor este un proces de îmbătrînire, care se termină inevitabil cu moartea individului.

O schemă generală, bazată pe studii îndelungate asupra dezvoltării pomilor fructiferi, a elaborat I. V. M i c i u r i n. Această schemă este valabilă pentru toate tipurile de plante superioare (anuale, bienale, ierboase perene și lemnoase perene). Dezvoltarea individuală a plantelor, după M i c i u r i n, are loc după următoarele etape : 1) *etapa embrionară* are loc în semințe, de la fecundarea oosferei pînă la începutul germinației embrionului ; 2) *etapa juvenilă* — de la germinația semințelor pînă la formarea primelor rudimente de flori ; 3) *etapa maturității* — pînă la apariția de noi embrioni ; 4) *etapa reproducerii sexuate* — pînă la coacerea deplină a fructelor și semințelor ; 5) *etapa bătrîneții* — de la încetarea fructificației pînă la moartea individului.

La plantele *monocarpice,* toate etapele se realizează o singură dată, în *ciclul vital.* La plantele policarpice, etapele 3 și 4 se repetă de mai multe

ori. Fiecare etapă se caracterizează prin însușiri fiziologice și caractere morfologice proprii. În concepția lui Miciurin, modificările fiziologice și cele morfologice sînt reciproc determinate.

Studiul dezvoltării individuale, în strînsă legătură cu factorii de mediu (în special temperatură și lumină), la plantele anuale de toamnă și bienale, efectuat de către Gassner, Maksimov, Lîsenko, a clarificat cauzele fiziologice ale însușirilor plantelor de toamnă și plantelor bienale, a explicat caracteristica fundamentală a tipului lor de dezvoltare, în comparație cu plantele anuale de primăvară. La aceste plante, studiul dezvoltării individuale este în prezent mult mai avansat decît la plantele perene. Principala concluzie a acestor cercetări este că însușirea de plantă de toamnă și însușirea de plantă bienală sînt determinate de necesitatea de temperaturi scăzute, de o anumită durată, la începutul ciclului vital. Pe baza acestor studii s-au elaborat o serie de procedee prin care plantele bienale pot să fie cultivate ca plante anuale, și plantele de toamnă ca plante de primăvară.

După ce plantele de toamnă și bienale au suferit acțiunea frigului și s-a creat o anumită stare fiziologică, pînă la un prag bine determinat, devin receptive la ziua lungă. Pe această bază, Lîsenko și colaboratorii săi au elaborat, în 1935, *teoria dezvoltării stadiale*. Principiul fundamental al acestei teorii — cum remarcă Razumov (1959) — este *stabilitatea dezvoltării*, adică „schimbarea cerințelor în ontogeneză".

Teoria dezvoltării stadiale a fost larg verificată pe milioane de hectare de cereale, în experiențele de producție, cu semințe iarovizate de grîu de toamnă și de primăvară.

Dezvoltarea cercetărilor a adus unele completări privind localizarea modificărilor stadiale, reversibilitatea stadiilor, relația dintre creștere și dezvoltare, compensația dintre factori.

A. STADIUL DE IAROVIZARE

1. Temperatura ca factor al dezvoltării plantelor anuale

Sînt bine cunoscute lucrările clasice ale lui Lîsenko la cerealele de toamnă (în special la grîul Kooperatorca), prin care s-a descoperit stadiul de iarovizare al plantelor.

În lucrarea *Influența factorului termic asupra duratei fazelor de dezvoltare la plante* (1928), Lîsenko prezintă primele rezultate, la grîne și la alte plante. Pentru prima dată se dovedește în mod științific că la cerealele de toamnă, prima fază de dezvoltare nu este accelerată de temperaturi ridicate ci este stimulată de temperaturi scăzute aproape de 0° și frînată de temperaturi mai ridicate. Cerealele de toamnă nu pot trece prima fază la temperaturi ridicate, și în lipsă de temperaturi scăzute înfrățesc mereu. În alte lucrări, Lîsenko a arătat că însușirea de plantă de

toamnă este foarte variabilă în grupul cerealelor. Însușirea de plantă de toamnă se datorește necesității de temperatură scăzută, pentru trecerea primei faze de dezvoltare. În această perioadă, Lîsenko nu folosește denumirea de stadiu. Durata perioadei de temperaturi scăzute se scurtează sistematic, începînd de la formele tipice de toamnă spre cele de semitoamnă, primăvară tardivă și primăvară precoce.

Un progres însemnat pentru studiul iarovizării plantelor de toamnă l-a constituit descoperirea că plantele de toamnă sînt receptive la frig și deci pot să-și desăvîrșească prima fază de dezvoltare (stadiul de iarovizare) în formă de sămînță imbibată în apă și cu embrionul pornit în creștere. Aceasta a ușurat mult cercetările. Prin iarovizarea semințelor la diferite temperaturi, s-a stabilit că procesul de iarovizare are loc numai în anumite limite de temperatură și că această limitare, la formele de toamnă tipice, este bine determinată și nu se pot iaroviza peste 10 °C.

După amplitudinea temperaturilor de iarovizare, cerealele se pot grupa în *forme de toamnă* (de la 0°—10 °C cu optimul +1°÷+2°), *intermediare* (de la 10° la 15°, optim +2°÷+3°), de primăvară tardivă (optim 5°÷6 °C) și *precoce* (optim 8°—12 °C). La temperatura optimă, durata iarovizării variază de la 70—80 de zile la grînele din Germania și Suedia, la 2—3 zile la grînele moi de primăvară. Între aceste limite găsim o variație continuă de la soi la soi, de la formă la formă. Dacă se confruntă această variație cu originea soiurilor, atunci se constată două reguli: 1) de la nord spre sud scade durata iarovizării; 2) la aceeași latitudine, durata crește de la clima continentală spre clima oceanică (grînele rusești, în comparație cu grînele germane și suedeze). Variația foarte mare pe o latitudine se datorește variației în numărul de zile de toamnă cu temperatura medie sub 10° pînă la stabilirea temperaturilor negative. La Leningrad, această perioadă este de 47 de zile, la Kirov — 39 de zile, iar la Enceping (Suedia) — 64 de zile. Prin urmare, cu cît toamna rece este mai lungă, cu atît și stadiul de iarovizare este mai lung.

Această adaptare este utilă pentru plante și le apără împotriva înghețurilor frecvente în aceste toamne lungi (se știe că după trecerea stadiului de iarovizare, rezistența plantelor scade).

2. Importanța nutriției minerale și a oxigenului

Abolina a dovedit că stadiul de iarovizare la cereale este trecut mai repede dacă în apă se adaugă K_2HPO_4. Un efect favorabil are și elementul B.

Experiențe riguroase la semințe de secară și la embrioni de secară izolați au arătat că iarovizarea este posibilă numai în prezența de oxigen și nu are loc într-o atmosferă de azot.

Necesitatea de *hrană organică* s-a dovedit la embrionii de secară izolați. Aceștia se iarovizează numai în prezență de glucoză 2%, zaharoză 3% și săruri minerale. Iarovizarea semințelor în repaus sau îmbibate, dar

cu embrionul nepornit, inactiv, nu a dat rezultate. Este necesar ca embrionul să pornească în creștere. Majoritatea experiențelor asupra iarovizării s-au executat la semințe, și de aceea s-a susținut că lumina nu joacă un rol în procesul de iarovizare. Experiențe recente arată că lumina are importanță. În natură, cerealele de toamnă se iarovizează ca plante cu frunze verzi. Temperaturile de iarovizare în toamnă nu exclud procesul de fotosinteză și este de așteptat ca în aceste condiții lumina să influențeze viteza procesului de dezvoltare.

Comparînd plantele tinere de grîu de toamnă, soiurile: Kooperatorka, Odessa 3 și Odessa 16, ținute în condiții de temperaturi joase (+1°—+6°) la lumină continuă, cu plantele ținute la zi scurtă de 9 ore, Dolgușin (1957) a constatat că la lumina continuă, plantele s-au iarovizat mult mai repede. S-a experimentat și cu semințe încolțite, ținute la întuneric în zăpadă. În ultimul caz, viteza iarovizării a fost cea mai mică.

3. Variația constantelor de iarovizare

La început s-a susținut părerea că cerințele față de temperatură sînt aceleași în orice fază de dezvoltare s-ar găsi plantele. Anghinian a dovedit însă că plantele provenite din semințe recoltate în faza de coacere în lapte necesită de 4 ori mai puține zile de iarovizare decît plantele provenite din semințe coapte (la grîu de toamnă Krasnodarka). Gregory a constatat că embrionul de secară, alcătuit doar din 7 celule, se poate iaroviza mai repede și la o temperatură mai ridicată. Această sensibilitate la temperaturi joase scade pe măsură ce semința se coace. Zarubailo a dovedit faptul interesant că iarovizarea semințelor are loc în anumite condiții (temperatura joasă la coacere) încă pe plantă mamă.

Prin urmare, sensibilitatea la iarovizare este ridicată la embrionul tînăr, scade pe măsură ce sămînța se coace și este nulă în sămînța coaptă, deci cînd embrionul este în repaus. După încolțirea semințelor, sensibilitatea la iarovizare crește mereu și atinge maximul în faza de trei frunze la grîul de toamnă. După această fază, sensibilitatea descrește din nou, și la înfrățire este necesar același număr de ore reci ca la semințele germinate.

Din cele arătate rezultă că sensibilitatea la iarovizare variază în cursul ontogeniei plantelor.

Sensibilitatea la temperaturi joase (durata stadiului de iarovizare) se schimbă și în legătură cu condițiile de viață. Oleinikova a dovedit că prin semănarea aceluiași soi de grîu (Ukrainka) în regiuni climaterice diferite, se schimbă sensibilitatea plantelor la temperaturi joase. Astfel, proveniența din R.D.G. și proveniența din Harkov, iarovizate la 0°—+2° C timp de 46—49 de zile, înspică la fel. Dacă timpul de iarovizare se reduce la 25 de zile, înspică numai proveniența din Harkov.

Plantele pot parcurge stadiul de iarovizare și în stare de plantă verde, în condiții de cîmp. Cercetările lui Dolgușin și ale altora arată că viteza și temperatura la care are loc stadiul de iarovizare în planta verde diferă de viteza și temperatura de iarovizare a semințelor.

Scanned with OKEN Scanner

În primul rînd, s-a constatat că grîul de toamnă, deseori își termină stadiul de iarovizare la sfîrșitul toamnei. Calculînd pentru aceste cazuri zilele de temperatură medie sub 10° la Odessa 1955, Dolgușin a constatat că stadiul de iarovizare ar fi trebuit să se termine pe la mijlocul lui decembrie, dar în realitate s-a terminat la mijlocul lunii noiembrie (semănatul s-a făcut la 10—15 septembrie). El a mai constatat că dacă se seamănă grîul mai înainte de termenul optim (în august), stadiul de iarovizare se termină și mai repede, putînd avea loc la o temperatură mai ridicată.

Explicația ar fi nutriția mai bună la plantele semănate mai devreme. Experiențe speciale au arătat că grînele de toamnă pot înspica la lumină continuă, fără să fie expuse la temperaturi joase. Deci, în condiții foarte bune de creștere, stadiul de iarovizare poate fi trecut și la temperaturi ridicate.

Intensitatea creșterii este importantă pentru trecerea stadiului de iarovizare. Razumov a arătat că la 8 °C, timp de 40 de zile, grîul și secara de toamnă, dacă au primit 70% umiditate în sol (au crescut intens), au înspicat 54%, pe cînd la 35% umiditate nu au înspicat de loc.

4. Rolul temperaturilor variabile și al temperaturilor negative

Toamna, temperaturile de peste zi variază de la temperaturi favorabile iarovizării pînă la temperaturi nefavorabile. Razumov a cercetat trecerea stadiului în aceste condiții și a constatat că efectul orelor reci întrerupte de ore calde nu se însumează mecanic. În acest caz este nevoie de un număr de ore reci mai mare decît în cazul temperaturilor joase neîntrerupte. Astfel, dacă 300 de ore reci s-au dat în doze de 20 de ore zilnic, iarovizarea a durat 15 zile (a înspicat 80% la grîu). Dacă cele 300 de ore reci s-au dat în doze zilnice de 10 ore, grîul nu a înspicat. El a constatat și faptul că 2 ore reci, date după 5 ore de căldură, care au urmat după 12 ore reci, au efect iarovizator evident.

Prelungirea stadiului de iarovizare prin întreruperea tratamentului cu temperatură ridicată se datorește efectului negativ al temperaturilor ridicate, cunoscut sub denumirea de „deziarovizare". În prezent se admite posibilitatea „deziarovizării parțiale" dacă stadiul de iarovizare nu a fost trecut complet.

S-a observat că semănăturile tîrzii de cereale de toamnă, în cursul iernii, se găsesc cu stadiul de iarovizare trecut. De aici a rezultat presupunerea că grînele de toamnă pot să-și termine stadiul de iarovizare la temperaturi negative. Cercetări speciale au arătat că soiurile nordice din regiunea de stepă pot să-și termine stadiul la —4 °C. Iarovizarea exclusiv la temperaturi negative cere însă un timp îndelungat. Fenomenele descrise sînt adaptări utile la condițiile de viață.

Scanned with OKEN Scanner

Întîrzierea stadiului de iarovizare la temperaturi variabile împiedică trecerea acestui stadiu prea repede toamna, deci plantele rămîn rezistente la ger. Terminarea stadiului de iarovizare la temperaturi negative este o adaptare la condițiile naturale din regiunile de stepă.

5. Metabolismul în stadiul de iarovizare

În urma acțiunii temperaturilor scăzute, crește activitatea fermenților oxidativi și ai celor hidrolitici. De aceea, în embrion crește cantitatea de zaharuri solubile, de acid ascorbic, proteine solubile în apă și acizi nucleici. Rubin a măsurat intensitatea respirației plantelor iarovizate și a găsit cifre mai mari decît la plantele neiarovizate.

6. Stadiul de iarovizare la plantele bienale

Plantele bienale au un stadiu de iarovizare tipic, dar de o durată mai lungă decît la cerealele de toamnă. La fel însă ca și acestea, după iarovizare au nevoie de un anumit regim de lumină (zi lungă) ca să dea naștere la tulpini florifere.

Plantele bienale au particularitatea că nu se pot iaroviza în stare de sămînță. Plantele mai tinere se iarovizează mai greu decît cele în vîrstă. S-a reușit să se stabilească la bienale zona receptivă la temperaturi scăzute în zona mugurelui terminal.

Bienalele pot fi „silite" să înflorească fără acțiunea temperaturilor joase. Astfel, prin altoirea plantelor din primul an pe plante din al doilea an (deci care s-au iarovizat) se obține înflorirea și la altoi. Același efect s-a obținut și prin altoire pe plante anuale (ridichi de lună, mărar). În altoirile pe ridichi de lună a fost neapărat necesară prezența frunzelor la portaltoi.

Fapt interesant este că plantele bienale au fost primele la care s-au aplicat pentru prima dată soluții de gibereline pentru a determina înfloritul lor fără acțiunea temperaturilor joase (Lang, 1956).

7. Stadiul de iarovizare la plantele perene ierboase

La plantele ierboase perene din latitudinile moderate și nordice s-a constatat, întocmai ca la plantele anuale de toamnă, necesitatea temperaturilor joase pentru dezvoltarea lor. Ca și la plantele anuale de toamnă semănate primăvara, fără să fi suferit acțiunea temperaturilor joase, plantele perene nu fructifică în primul an. Spre deosebire de cerealele de toamnă și în asemănare cu bienalele, ierburile perene nu se pot iaroviza în stare de sămînță. Pentru anii următori de vegetație, fiecare generație de lăstari trebuie să sufere o iarovizare. Diferite specii de ierburi perene sînt, în

privința necesității de temperaturi joase, populații complexe. La *Lolium perenne*, de exemplu, provenienţele mediteraneene reacționează slab la iarovizare, în comparație cu cele nordice.

8. Necesitatea temperaturilor scăzute la plantele perene lemnoase

Se știe că semințele de arbori și pomi fructiferi nu germinează decît după o lungă perioadă de „stratificare" la o temperatură de 0°—+5 °C și în mediu umed.

Cu toată asemănarea cu iarovizarea cerealelor de toamnă, acest proces se deosebește prin aceea că este reversibil prin tratare cu căldură, adică semințele tratate cu frig și ținute în continuare la căldură se reîntorc la starea de repaus. Mai există și deosebirea că prin „stratificare" nu se grăbește procesul de dezvoltare.

Un alt proces la arbori și pomi, care necesită temperaturi scăzute, este diferențierea și ieșirea din repaus a mugurilor de rod. În acest caz, temperaturile scăzute sînt necesare în primul rînd pentru ieșirea din repaus a mugurilor și în al doilea rînd, pentru dezvoltarea lor. Mugurii de rod, la diferite specii, intră în iarnă cu grade de diferențiere diferite. Astfel, vișinul are toate părțile florii formate, în afară de stamine ; la cais, toate sînt în stare de primordii. Temperaturile joase acționează ca stimulatoare a procesului de diferențiere a mugurilor. Necesitatea de temperaturi joase în procesul de diferențiere a mugurilor este cu atît mai mare, cu cît speciile și soiurile sînt mai nordice.

B. STADIUL DE LUMINĂ

1. Rolul duratei de acțiune a luminii în dezvoltarea plantelor

Lumina are importanță în multe procese fiziologice. În fotosinteză este sursa de energie pentru sinteza glucidelor. În mișcările de creștere, lumina de o intensitate inegală dă naștere la fototropisme, iar variațiile în intensitatea luminii provoacă fotonastii. Lumina este necesară pentru o creștere normală, pentru formarea de țesuturi normale. O cauză a căderii cerealelor este lumina mai slabă în partea de jos a tulpinii. Starea protoplasmei, permeabilitatea etc. sînt influențate direct de lumină ; de asemenea, închiderea și deschiderea stomatelor.

În toate aceste procese, influența luminii s-a studiat în raport cu intensitatea și compoziția luminii. Multă vreme nu s-a dat importanță duratei de expunere la lumină în timpul zilei. Nu s-a luat în seamă că în cursul vegetației lungimea zilei variază. În regiunea noastră, primăvara și toamna ziua este mai scurtă, iar vara este mai lungă. În sud, vara, ziua este mai scurtă decît în nord ; în extremul nord, ziua este aproape continuă.

Scanned with OKEN Scanner

Lungimea zilei variază deci în mod sistematic în cursul anului și de la sud la nord, avînd o importanță hotărîtoare în viața plantei, în procesul dezvoltării.

Sachs a observat că înflorirea plantelor se face sub influența luminii. Planta *Tropaeolum* nu înflorește după un ecran din sulfat de chinină care nu lasă să treacă razele ultraviolete.

Mai tîrziu, Klebs a reușit să provoace înfloritul la planta *Sempervirum funckii* iarna, dacă a mărit ziua artificial cu lumină electrică, adică a creat o zi lungă.

Influența lungimii zilei a fost remarcată și de Timiriazev, care a arătat că în nord, unele plante înfloresc mai repede, ziua fiind mai lungă.

Tournois (1912), dimpotrivă, a constatat experimental că unele plante înfloresc mai repede dacă ziua este mai scurtă (la cînepă și hamei japonez).

Toate aceste experiențe și observații au arătat că lungimea zilei influențează trecerea plantelor la înflorit.

Problema este dezvoltată mai departe și pe un material variat de către Garner și Allard (1920). Prima observație s-a făcut la soiul de tutun *Maryland Mammouth*. O plantă viguroasă din acest soi nu a înflorit peste vară. Transplantată toamna în seră, peste iarnă a înflorit. Fenomenul a fost pus în legătură cu lungimea zilei. Vara, ziua este mai lungă și planta nu a putut înflori.

Experiențe speciale au arătat justețea acestor presupuneri. Aceeași reacțiune la lungimea zilei a fost găsită și la alte plante ca mei, soia, orez, sorg, bumbac, mohor, toate plante sudice și iubitoare de căldură. Aceste plante înfloresc mai repede dacă se scurtează ziua și își prelungesc perioada de vegetație dacă ziua se lungește. Crizantemele înfloresc toamna, dar dacă le ținem la zi scurtă, înfloresc și vara.

Acest tip de plante a fost numit *plante de zi scurtă*, adică plante care pentru a înflori au

Fig. 133. Plantă de zi scurtă mei, ținută la zi de 18 ore *(stînga)* și la zi de 12 ore *(dreapta)*

nevoie de zi scurtă (fig. 133). Plantele din regiunile temperate și reci de mai la nord, cum sînt grîul, secara, ovăzul, se comportă invers. Ele își grăbesc dezvoltarea, înfloresc mai repede dacă ziua este mai lungă. Aceste plante au fost denumite *plante de zi lungă.* Scurtînd ziua, perioada lor de vegetație se prelungește, iar sub o anumită limită de scurtare a zilei nu înfloresc de loc. Planta *Sedum spectabile* (în experiențele lui Garner și Allard) nu a înflorit timp de 8 ani, ținută tot timpul la zi de 10 ore. Lîsenko a ținut un soi de orz în stare vegetativă timp de 2 ani, creindu-i un regim de lumină de 10 ore pe zi.

Unele plante ca floarea-soarelui, tomatele, nu reacționează la scurtarea sau prelungirea zilei și înfloresc în același timp la zi lungă sau la zi scurtă. Acest grup de plante a fost denumit *plante neutre.* Ele reprezintă cam 20% din numărul total de specii.

Mai există încă un grup de plante, denumite *intermediare,* care nu înfloresc decît în anumite limite, adică ziua nu se poate prelungi peste un anumit număr de ore, dar nici nu se poate scurta prea mult. Astfel este *Mikania scandens,* care înflorește numai dacă ziua este cel puțin de 13 ore și cel mult de 18 ore.

Studiul *reacției fotoperiodice,* adică reacția la lungimea zilei la diferite soiuri din cadrul aceleiași specii, a arătat faptul important că diferitele soiuri ale unei specii se deosebesc în ce privește pretențiile față de lumina zilei, unele fiind mai „exigente", adică sînt foarte sensibile la schimbarea lungimei zilei, altele, dimpotrivă, suportă mari variații, iar unele sînt chiar indiferente față de lungimea zilei.

Acest fapt ne dă posibilitatea să găsim în cadrul unei specii forme „neutre" sau forme cu „reacție fotoperiodică" clară și să evidențiem formele cele mai potrivite în diferitele condiții de climă.

Astfel la soia, soiul *Biloxi* este plantă tipic de zi scurtă. Dacă este crescută în loc de zi de 12 ore la zi de 16 ore, perioada de vegetație este de două ori mai lungă. Soiul *Agate* nu reacționează la modificarea zilei și înflorește aproape în același timp la zi lungă și scurtă. Acest fapt are o mare importanță în selecție.

Din cele arătate mai înainte reiese că plantele se deosebesc în ceea ce privește lungimea zilei necesară lor pentru înflorire. Trebuie să subliniem însă că nu este vorba aici de o limită a lungimii zilei, care să despartă plantele de zi lungă de plantele de zi scurtă. La început s-a crezut că această limită este ziua de 12 ore. Deci plantele de zi lungă înfloresc dacă ziua este mai lungă de 12 ore, iar plantele de zi scurtă, dacă ziua este mai scurtă de 12 ore. Acest criteriu de clasificare s-a dovedit inexact — deoarece sînt plante de zi scurtă care înfloresc la 13 ore și chiar la zi continuă (cum sînt formele nordice de mei). Soia *Biloxi* înflorește la zi de 12 ore, dar nu înflorește la zi de 14 ore, soiul *Mandarin* înflorește și la 17 ore. Cu toate acestea, toate sînt plante de zi scurtă. Criteriul cel mai bun pentru clasificare, este clasificarea după reacția la scurtarea sau prelungirea zilei. Plantele de zi scurtă sînt plantele care înfloresc mai repede dacă ziua se scurtează, iar plantele de zi lungă, cele care înfloresc mai repede dacă ziua se prelungește. Nu este exclus ca unele plante de zi scurtă să înflorească la zi lungă și chiar la zi continuă, dar cu întîrziere ; cu toate acestea sînt plante de zi

scurtă. La fel, unele plante de zi lungă pot înflori chiar la o zi sub 12 ore, dar cu întîrziere, față de situația cînd primesc lumină 18—24 de ore.

Trebuie subliniat că „reacția" plantelor la lungimea zilei nu este o însușire absolută și ea poate să varieze, în special în legătură cu temperatura. Reacția la lungimea zilei este tipică numai la o anumită temperatură specifică. Dacă temperatura se „abate" de la acest optim, reacția slăbește, și în caz extrem se inversează, adică plantele de zi scurtă se comportă ca plante de zi lungă și invers.

Înaintea elaborării teoriei dezvoltării stadiale, toate aceste fenomene au fost încadrate în fenomenul general de fotoperiodism, prin care se înțeleg toate modificările ce au loc în viața plantelor (în durata perioadei de vegetație, influența asupra intensității creșterii, formării organelor vegetative, a intrării în stare de repaus, a înfloritului etc.), prin schimbarea duratei zilei și nopții.

Fotoperiodismul a explicat unele probleme și anume de ce cartoful sălbatic, soia, porumbul nu înfloresc în regiunile nordice sau piersicul și cireșul nu înfloresc la tropice și de ce plantele din nord își prelungesc perioada de vegetație la sud, iar cele sudice, prin mutarea lor mai spre nord. Esența fenomenului nu a fost lămurită însă și nu a fost legată de celelalte procese, de mediul de viață și de evoluția plantelor.

Teoria dezvoltării stadiale a legat fenomenul fotoperiodismului de întreaga dezvoltare și a arătat locul acestuia în procesul de dezvoltare. Toate fenomenele legate de fotoperiodism își găsesc explicarea științifică în teoria dezvoltării stadiale, care consideră dezvoltarea ca o succesiune de stadii calitative. Fenomenul fotoperiodismului se încadrează în stadiul de lumină.

Lîsenko a arătat că în dezvoltarea plantelor, pe lîngă transformările calitative care au loc o dată cu trecerea stadiului de iarovizare, mai sînt necesare și alte noi transformări calitative, pentru ca planta să poată ajunge la fructificare, adică să-și desăvîrșească dezvoltarea, ciclul de viață.

Necesitatea de noi transformări calitative se poate demonstra dacă ținem grîu sau orz iarovizat la zi scurtă. Vom constata că deși au avut loc transformările calitative ale primului stadiu — adică procesul de iarovizare a fost trecut — plantele continuă să rămînă în stare vegetativă. La zi lungă vor înflori și fructifica normal.

Inainte ca Lîsenko să se ocupe de stadiul de lumină și să elaboreze teoria dezvoltării stadiale a plantelor, un alt cercetător, Eghiz, a descoperit faptul important că plantele nu au nevoie de „fotoperioade" corespunzătoare (zi scurtă sau zi lungă) în tot timpul vegetației, ci numai un anumit timp, un anumit număr de zile, variabil la diferite specii și soiuri. După ce plantele au fost ținute timpul necesar la lungimea de zi corespunzătoare, pot să-și continue dezvoltarea în mod normal, la orice lungime a zilei. Astfel, la soia sînt necesare 10—20 de zile scurte pentru a grăbi înfloritul, tot atît de mult ca la plantele ținute tot timpul la zi scurtă. La *Cosmos bipinnatus* sînt suficiente 10 zile, dacă primesc mai puțin de 10 zile, înfloresc mai tîrziu.

Aceste cercetări au fost confirmate de numeroase lucrări, și fenomenul a fost denumit „inducția fotoperiodică". Lîsenko a arătat că corespunde stadiului de lumină care urmează stadiul de iarovizare.

Dacă plantele nu găsesc condiții favorabile pentru stadiul de lumină, ele continuă să crească vegetativ, să-și mărească masa vegetativă. Perioada de vegetație se prelungește, plantele devin tardive sau nu înfloresc de loc. Prin urmare, tardivitatea sau precocitatea pot să fie determinate fie de lungimea stadiului de lumină, fie de lungimea stadiului de iarovizare sau de amîndouă. Stadiile de iarovizare și de lumină pot să fie lungi sau scurte, după natura (soiul) plantei, sau pot să se prelungească din cauza condițiilor nefavorabile pentru trecerea acestor stadii.

2. Cerințele plantelor în stadiul de lumină

a) *Durata stadiului de lumină.* Ce este hotărîtor în stadiul de lumină: lumina de o anumită durată, sau întunericul de o anumită durată, ori un anumit raport între durata luminii și durata întunericului în curs de 24 ore? În ce privește plantele de zi lungă, L î s e n k o a arătat că aceste plante ca grîul, ovăzul etc., în acest stadiu nu au nevoie de întuneric și înfloresc mai repede dacă sînt ținute tot timpul la lumină, deci la lumină continuă. Trebuie remarcat însă aici că pentru completarea luminii naturale de peste zi este suficientă lumina de la o lampă de 100 W. Rezultă că la plantele de zi lungă, schimbările calitative caracteristice stadiului de lumină au loc la lumină.

Fig. 134. Influența fotoperioadelor la crizanteme: stînga — la zi scurtă de 9 ore; dreapta — la zi continuă

La plantele de zi scurtă, aceste procese au loc la întuneric, de aceea ele au nevoie de noapte lungă și de o zi scurtă (fig. 134). Dovada în acest sens este întreruperea nopții cu o lampă electrică pentru 10—15 minute (la soia Biloxi: 30 de secunde). Prin această scurtă iluminare se întrerup procesele stadiale și planta nu mai înflorește sau își întîrzie mult perioada vegetativă, întocmai ca atunci cînd sînt ținute la zi lungă. Același efect se produce dacă alternăm în cursul zilei ore de lumină cu ore de întuneric, astfel ca timpul total de lumină și întuneric să corespundă raportului între zi și noapte dintr-o zi scurtă, adică 10 ore lumină și 14 ore întuneric.

Scanned with OKEN Scanner

Aceste experienţe dovedesc că modificările stadiale la plantele de zi scurtă au loc la întuneric şi sînt în legătură cu starea fitocromului. Importanţa întunericului se vede şi din faptul că perioada minimă de întuneric pe zi (în 24 de ore) este totuşi mult mai mare decît perioada minimă de lumină. Astfel *Perilla ocymoides* înfloreşte chiar dacă pe zi primeşte numai 3 ore lumină, *Xanthium pennsilvanicum* — 30 de minute lumină pe zi.

Perioada de întuneric în cursul a 24 de ore este însă mult mai lungă. La *Perilla ocymoides* este de 9 ore întuneric. Reducerea nopţii la $8^1/_2$ ore exclude înfloritul.

Rămîne deschisă problema dacă pentru dezvoltarea plantelor de zi scurtă este necesară şi lumina în timpul celor 24 de ore. L î s e n k o susţine că lumina nu este necesară pentru dezvoltarea acestor plante. Alţi cercetători sînt de părere că este necesară şi lumina.

Un fapt este sigur: stadiul de lumină nu este trecut dacă fotosinteza este exclusă (în lipsa CO_2), deşi nu este o proporţionalitate directă între cele două procese.

Fitocromul a fost descoperit prin experienţe de întrerupere a nopţii cu radiaţii de diferite lungimi de undă. S-a constatat că atît la plantele de zi scurtă, cît şi la plantele de zi lungă, efectul nopţii (pozitiv sau negativ fotoperiodic) poate fi inversat ca sens, dacă se luminează scurt timp plantele la mijlocul perioadei de întuneric. Dacă se folosesc radiaţii diferite, razele roşii de 660 milimicroni sînt cele mai eficace. Aceste radiaţii sînt eficace şi la germinaţia seminţelor fotofile, şi la creşterea internodiilor.

Acţiunea razelor roşii de 660 milimicroni poate fi anulată de razele infraroşii de 735 milimicroni. Există deci un sistem cu două forme reversibile. Sistemul este alcătuit dintr-un pigment care, absorbind cantităţi mici de energie, se transformă dintr-o formă în alta. Forma P_{735}, care poate absorbi raze de 735 mμ la întuneric se transformă în forma P_{660}, care este stabilă. Fotocromul a fost extras din plantele de porumb crescute la întuneric şi a arătat şi „in vitro" reversibilitatea de la 660 mμ la 735 mμ şi invers. Pigmentul este o proteină solubilă în apă, relativ stabilă. Acţiunea ei este în legătură cu o reacţie importantă în metabolismul celular, probabil este legată de acetil-coenzima A, substanţă care joacă un rol principal în reacţiile oxido-reducătoare, în sinteza grăsimilor, acizilor organici etc. Schematic, reacţia are loc astfel:

$$P_{660} \underset{\text{infraroşu}}{\overset{\text{roşu}}{\rightleftharpoons}} P_{735}.$$

În lumina albă, raportul între cele două forme poate să varieze, şi efectul este determinat de dominanţa uneia asupra celeilalte forme.

b) *Intensitatea luminii şi calitatea luminii.* Pentru plante nu este indiferentă intensitatea luminii în stadiul de lumină, şi în această privinţă plantele se deosebesc unele de altele. Trebuie remarcat însă că intensitatea luminii pentru procesele stadiale din acest timp (stadiu) este mult mai mică decît intensitatea necesară pentru fotosinteză. Multe plante trec stadiul de lumină la o intensitate de 5—10 lucşi şi chiar la lumina lunii, intensitate la care respiraţia predomină procesul de fotosinteză.

Scanned with OKEN Scanner

În general s-a constatat că sînt necesare cîteva ore de lumină intensă pentru fotosinteză, iar restul orelor de lumină pot fi de o lumină foarte slabă.

În ce privește compoziția luminii, cercetările au stabilit că pentru parcurgerea stadiului de lumină de către plantele de zi lungă, cele mai active sînt radiațiile roșii. Cele albastre au o acțiune slabă sau nulă (la mei). La plantele de zi scurtă, radiațiile albastre sînt cele mai active în parcurgerea stadiului.

c) *Durata stadiului de lumină.* Întocmai ca și la stadiul de iarovizare, și la stadiul de lumină găsim variații în ce privește lungimea stadiului la diferite plante. La mei este de 10 zile, la *Perilla* de 20 de zile, la grîu de 30 de zile, iar la *Xanthium* numai o zi, la orez 80 de zile, iar la bumbac 75 de zile. I. Barbat și I. Puia (1953), la porumb au găsit că formele precoce (*Hăngănesc, Galben timpuriu, Cincantin*) au stadiul de lumină scurt (5 zile), cele tardive (*Lester Phister,* I.C.A.R. 54) au un stadiu lung de 15—20 de zile. Trebuie să remarcăm că durata stadiului variază mult cu vîrsta plantelor.

d) *Lungimea critică.* Aceeași variabilitate se constată și în ce privește lungimea critică, care reprezintă lungimea zilei peste care nu mai are loc înflorirea sau plantele înfloresc cu foarte mare întîrziere. De exemplu, la soia, soiul *Biloxi* are lungimea critică între 12—14, soiul *Peking,* 14—16 ore, iar *Mandarin,* 16—18 ore ; soiul *Agata* nu are lungime critică.

Este interesant că această lungime critică reprezintă un prag peste care este suficient să treacă cîteva minute (10—15), ca reacția plantei să fie categorică și să nu mai înflorească. Cu alte cuvinte, dezvoltarea plantelor, ca și stadiul de iarovizare, este posibilă numai într-un anumit cadru de variație al factorilor la care sînt adaptate (fig. 135).

Diferite forme de plante se deosebesc în „exigența" lor față de lungimea zilei. Unele cer un număr bine determinat de „fotoperioade" corespunzătoare (zile scurte sau lungi). Astfel, meiul dacă a primit 12 zile scurte, a înflorit la timp, dar dacă a primit numai 9 zile scurte, nu a format flori.

Unele forme cer cu „insistență" fotoperioada corespunzătoare în stadiul de lumină. Altele sînt mai plastice și pot să treacă stadiul de lumină

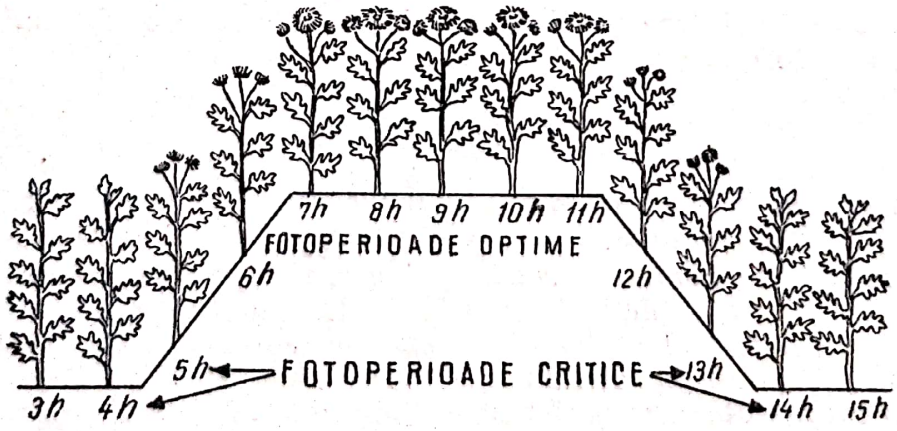


Fig. 135. Caracterul dezvoltării crizantemelor sub influența diferitelor fotoperioade

cu întîrziere și la „fotoperioade" necorespunzătoare. Astfel, Razumov (1939) a găsit o formă de mei care înflorește și la zi continuă. După cum se va arăta, „toleranța" unei fotoperioade nefavorabile este în legătură cu locul de cultură. Plantele de zi scurtă, cultivate la nord, au o „toleranță" mai mare față de ziua lungă decît plantele de zi scurtă, cultivate la sud. Plantele de zi scurtă au și un prag inferior de ore de lumină zilnică. La soia, minimum de ore de lumină pe zi este de 4 ore, la crizantemele — 5 ore, la *Perilla ocymoides* — 3 ore de lumină. Deci plantele de zi scurtă au două limite critice — una superioară și una inferioară.

Unele plante, cum sînt crizantemele reacționează foarte clar la limita superioară. Astfel, la lumină de 13 ore a înflorit cu două luni mai tîrziu decît la zi de 12 ore. La zi de 13 ore și 15 minute nu a înflorit.

e) *Rolul temperaturii.* Întocmai ca în stadiul de iarovizare, și în stadiul de lumină condițiile pentru trecerea stadiului formează un complex de factori. Pe lîngă o anumită durată de expunere la lumină în 24 de ore, este nevoie și de o anumită temperatură care este mult mai ridicată decît în stadiul de iarovizare.

Dolgusin a arătat că meiul nu poate trece stadiul de lumină decît dacă temperatura peste noapte nu scade prea mult. La fel, grîul iarovizat nu va fructifica chiar dacă primește zi lungă, dacă temperatura este sub 10 °C. În unele cazuri, plantele își modifică reacția fotoperiodică. Astfel, *Ipomea purpurea,* din plantă de zi scurtă la temperaturi ridicate devine plantă de zi lungă la temperatură scăzută. Durata critică a zilei este modificată de temperaturile scăzute; se deplasează înspre tipul opus ca reacție fotoperiodică.

3. Lungimea zilei și organele vegetative

Condițiile în care este trecut stadiul de lumină influențează apariția diferitelor organe vegetative, precum și intrarea plantelor (organelor) în repaus.

Prin procesul de dezvoltare se determină și creșterea și activitatea întregului organism. Diferitele organe și însușiri apar în cursul dezvoltării pe baza modificărilor stadiale care creează posibilitățile pentru formarea noilor organe. Se știe că în stadiul de iarovizare nu se pot forma tulpini și organe de reproducere. Acestea se formează în stadiul de lumină și după trecerea acestuia.

Relația dintre mersul dezvoltării și apariția organelor și a diferitelor însușiri se poate demonstra mai bine la plantele cu tuberculi și bulbi.

Cartoful sălbatic nu formează tuberculi în regiunea noastră din cauza zilei prea lungi. Dacă se ține însă la zile scurte (12 ore), formează tuberculi în mod normal. Cartoful cultivat nu are această cerință atît de pronunțată, și de aceea poate fi cultivat și dincolo de cercul polar. Cartoful cultivat este sensibil la temperatură. Dacă temperatura solului este mai ridicată de 20—25°, nu se formează tuberculi. Temperatura rece este necesară în

perioada formării tuberculilor. O temperatură mai ridicată duce la degenerarea materialului de plantat. Acest fapt a împiedicat cultura cartofului în regiuni de stepă cu veri călduroase. Degenerarea cartofului se poate evita prin metoda plantărilor de vară.

La plantele cu bulbi, cum este ceapa, pentru a se forma bulbi este nevoie de zi lungă. Acest fapt este explicat de originea plantelor cu bulbi. Majoritatea sînt din regiuni de semideșerturi și stepe secetoase. Bulbul se formează la începutul verii, cînd ziua este lungă.

Prin schimbarea regimului fotoperiodic s-au obținut interesante modificări morfologice. Astfel, la linte și lucernă, la zi scurtă tulpinile sînt culcate; la *Amaranthus* la zi scurtă frunzele sînt glabre, la zi lungă — păroase. La porumb și cînepă, la zi scurtă, florile bărbătești se transformă în flori femeești. La *Bryophyllum,* plantele fiice, care se formează pe frunze, nu apar decît la zi lungă.

Intrarea arborilor în repaus depinde de lungimea zilei. Exemplul cel mai bun este la salcîm și la nuc. Aceste plante trec în stare de repaus, care constă în încetarea creșterii și „coacerea lemnului", numai la zi mai scurtă. La zi lungă, ele continuă să vegeteze și intră în iarnă nepregătite. La fel s-a constatat la mandarin. Rezultă că ziua scurtă oprește creșterea (fig. 136). La grîul de primăvară *Lutescens* 62 (AM) și ovăzul Tg. Frumos 9, N. Sălăgeanu, H. Chirilei și E. Iliescu (1952) au găsit la zi scurtă o înfrățire mai bună și rădăcinile mai bine dezvoltate.

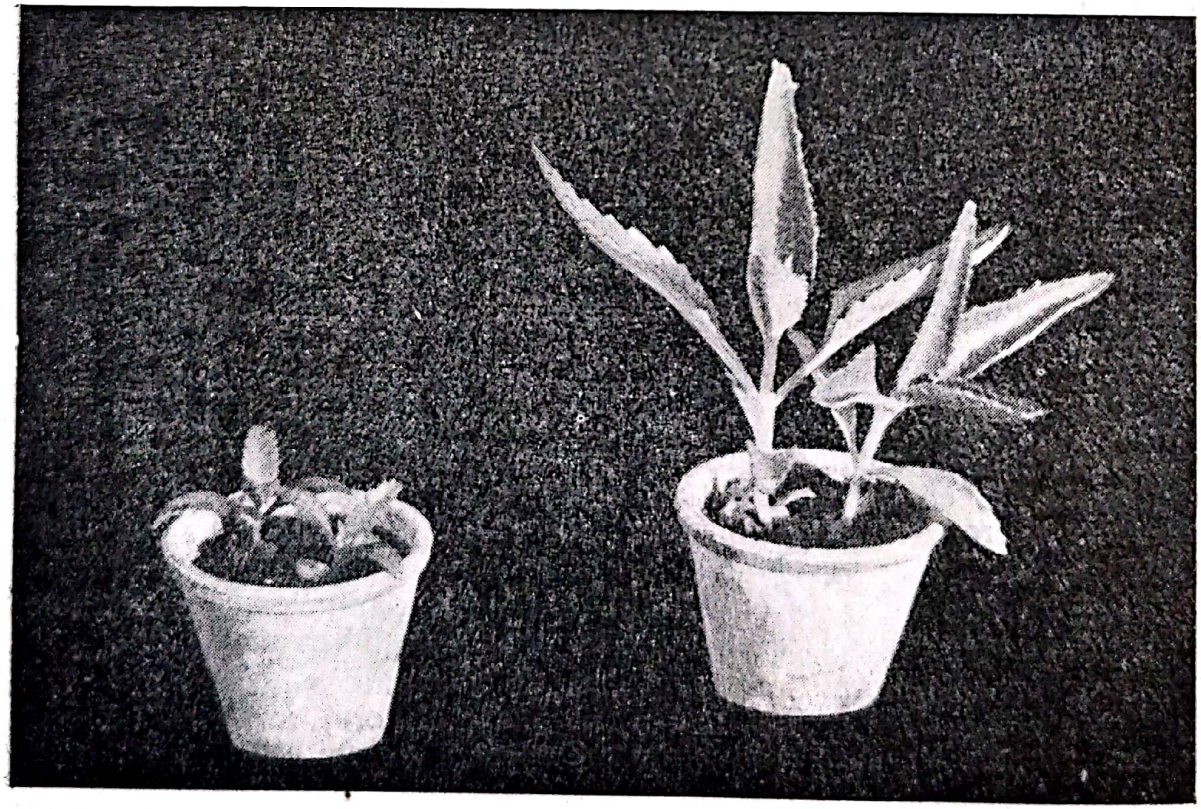


Fig. 136. Influența fotoperioadelor la *Bryophyllum:* stînga — la zi scurtă de 9 ore; dreapta — la zi continuă

Toate faptele enumerate ne arată legătura strînsă dintre plante şi mediu, şi posibilitatea de a provoca artificial modificări morfologice care să poată servi ca material de selecţie.

4. Rolul frunzei

Se pune problema : unde se percepe acţiunea „fotoperiodică", în vîrfurile vegetative sau în frunze ? La început s-a crezut că vîrful vegetativ este partea care percepe influenţa duratei luminii, deoarece aici trebuie să aibă loc modificările stadiale care dau posibilitate să apară florile din ţesuturile meristematice, care, pînă la aceste modificări, nu erau în stare să dea naştere decît la frunze şi tulpini. Experienţele au arătat că frunzele sînt organul care percepe influenţa duratei de expunere la lumină (fig. 137). Modificările care survin se localizează în muguri ce trec apoi la înflorire. Pentru percepţia luminii nu este însă nevoie de toată suprafaţa foliară. Este suficientă o singură frunză, iar la *Perilla ocymoides* chiar 1/3 din frunză. S-a stabilit, de asemenea, că primele frunze nu sînt sensibile şi deci nu joacă rol în reacţia fotoperiodică, de asemenea frunzele tinere în creştere. În frunză iau naştere substanţe nutritive şi „substanţe specifice", care, ajungînd la vîrful vegetativ pregătit pentru stadiul de lumină (deoarece a trecut stadiul de iarovizare), acesta le foloseşte pentru procesele biochimice caracteristice stadiului de lumină.

Unii cercetători au considerat că această substanţă este un hormon şi i-au dat numele de „florigen". Pînă astăzi nu s-a putut însă izola acest „florigen". Lîsenko şi Avachian au arătat că nu este un hormon, ci hrană mai complexă, care nu se poate forma decît la o anumită lungime de zi. Tot ei au arătat că această hrană se poate depozita şi păstra de plantă în organele de depozitare cum sînt bulbii, tuberculii, rădăcinile tuberizate.

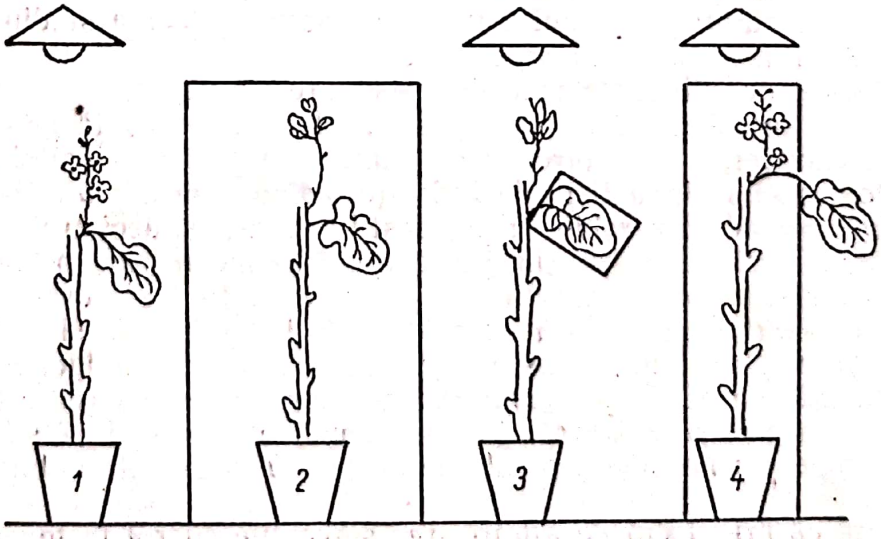


Fig. 137. Localizarea reacţiei fotoperiodice la varza de Abisinia :
1 — planta întreagă la lumină continuă; *2* — planta întreagă la zi scurtă; *3* — frunza la zi scurtă şi restul plantei la zi continuă; *4* — frunza la zi continuă şi restul plantei la zi scurtă (plantele *1* şi *4* au înflorit)

Această hrană se poate forma chiar înainte de stadiul de iarovizare și folosi după ce în vîrfurile vegetative au fost trecute modificările stadiale caracteristice stadiului de iarovizare.

5. Reacția fotoperiodică și vîrsta plantei

Mai sus s-a arătat că există o relație strînsă între trecerea stadiului de lumină și fotosinteză, sau mai exact — produsele fotosintezei. Această relație se vede și din importanța vîrstei pentru trecerea stadiului de lumină. Astfel, gramineea *Teosinte* — plantă de zi scurtă — are nevoie de 25 de zile scurte după răsărit. Dacă plantele au o vîrstă de 70 de zile (timp în care au fost ținute la lumină continuă și deci nu au putut trece stadiul de lumină) au nevoie numai de 8 zile scurte. La fel, ciumiza din India are nevoie, ca plantulă, de 25 de zile scurte, iar ca plantă de 45 de zile, numai de 10 zile scurte. Deci, plantele mai în vîrstă, avînd rezervă de substanță organică, au putut să treacă mai repede stadiul de lumină. Importanța vîrstei rezultă din reducerea perioadei luminoase din cursul zilei sau aplicarea de lumină slabă. *Perilla ocymoides,* în vîrstă de 20 de zile, poate înflori cu o singură oră lumină pe zi. Meiul de Krasnokutsk poate înflori repede la un regim de lumină — format din 4 ore lumină naturală și 20 de ore lumină electrică slabă, dacă plantele sînt mai în vîrstă. La ovăz, plantele de 24 de zile pot înflori la un regim de 4 ore lumină naturală și 20 de ore lumină electrică de 60 de lucși.

Necesitatea substanțelor organice pentru trecerea stadiului de lumină este dovedită direct din experiențele de altoire la plantele bienale. Dacă se altoiesc plantele de varză, sfeclă, morcov pe plante din al doilea an, pot înflori în anul întîi chiar la întuneric, pentru că primesc hrana de la plantele portaltoi. Aceste rezultate ne ajută să înțelegem înflorirea unor plante la întuneric. Astfel este ghiocelul care își formează florile sub stratul de zăpadă — datorită hranei ce s-a acumulat în bulb peste vară.

Natura substanțelor organice necesare pentru trecerea stadiului de lumină nu este cunoscută pînă acum.

Complexul de substanțe care sînt necesare pentru formarea florilor la plantele de zi lungă și de zi scurtă este același. La această concluzie s-a ajuns prin experiențe de altoire, în care unul din parteneri (altoi sau portaltoi) a fost supus „inducției" de înflorire, adică a primit un număr suficient de fotoperioade favorabile (sau a fost iarovizat) și deci are capacitatea de a înflori, iar celălalt a fost ținut în condiții de mediu care nu permit formarea florilor și favorizează creșterea vegetativă. În toate experiențele, în care unul din parteneri a fost în stare de înflorire, a înflorit și celălalt partener sub influența primului, deși s-a găsit în condiții „neinductive". Astfel, plantele de măselariță (*Hyoscyamus niger*) forma bienală (care cere obligatoriu iarovizarea la temperaturi joase) dacă se altoiesc fără să fi suferit acțiunea temperaturilor joase pe plante care s-au iarovizat, ambii parteneri înfloresc.

Rezultă că prin locul de altoire trec substanțe cu rol în formarea florilor. La aceeași specie, dar la forma anuală (care nu necesită iarovizare), unul din parteneri a fost ținut la zi lungă (favorabilă înfloritului), și unul

la zi scurtă (nefavorabilă înfloritului). Ambii parteneri au înflorit.

La *Perilla,* experienţa reuşeşte şi dacă se altoieşte o singură frunză de la o plantă în stare de înflorire.

Un fapt deosebit de important este că experienţa de altoire reuşeşte între specii şi genuri diferite, care aparţin la diferite tipuri de dezvoltare. Astfel, *Hyoscyamus niger,* forma bienală, înfloreşte fără iarovizare şi la zi scurtă dacă este altoită pe tutunul *Maryland Mammouth* (un soi tipic de zi scurtă). Experienţa nu reuşeşte dacă soiul de tutun este ţinut la zi lungă (fig. 138). Din această combinaţie, tutunul *Maryland Mammouth* poate să înflorească la zi lungă dacă *Hyoscyamus niger* a fost iarovizat.

Fig. 138. Experienţă de altoire între *Hyoscyamus niger* şi tutun *Maryland-Mammouth:* tutunul e la zi scurtă (stînga) şi la zi lungă (dreapta)

Rezultă că prin iarovizare se creează o condiţie (modificări structurale şi metabolice în meristemul mugurilor de rod) necesară pentru acţiunea fotoperioadelor favorabile înfloritului. La tutun, această condiţie există la temperaturi ridicate. Altoiri între soiul de tutun *Maryland Mammouth* (*Nicotiana tabacum*) (plantă de zi scurtă) şi *Nicotiana silvestris* sau forma anuală de *Hyoscyamus niger* (plantă de zi lungă) dovedesc că ambii parteneri înfloresc dacă unul din ei primeşte condiţiile fotoperiodice favorabile.

Din aceste experienţe mai rezultă că „hrana" necesară ţesutului meristematic din vîrful tulpinii, pentru formarea florilor, se produce în frunză.

6. Stadiul de lumină şi răspîndirea geografică a plantelor

Cerinţele plantelor în stadiul de lumină sînt adaptări la condiţiile de mediu în care s-au format diferitele tipuri de plante. De aceea, în general, plantele care cresc la latitudini nordice sînt plante de zi lungă, iar cele care cresc mai la sud sînt plante de zi scurtă. Reacţia fotoperiodică a plantelor se modifică însă în diferite condiţii. Grînele din Suedia înspică repede numai dacă ziua este de 16—17 ore. Cele din India Centrală sînt tot soiuri de zi lungă, dar pot să înspice repede şi la zi de 12 ore, şi chiar de 11 ore. În Suedia, lungimea zilei în perioada de vegetaţie la grîu nu scade sub 16 ore; în India, grînele se seamănă în noiembrie şi înspică în februarie, cînd în India Centrală ziua este de $11^1/_2$ ore. Deci selecţia naturală şi artificială a creat aceste soiuri de grîu care, deşi rămîn plante de zi lungă, în condiţiile din India, pot trece stadiul de lumină şi la zi scurtă.

Aceeaşi situaţie se întîlneşte şi la plantele de zi scurtă. Deşi rămîn plante de zi scurtă, cele care se cultivă de mult înspre nord se deosebesc

de cele cultivate la sud. Astfel, soiurile sudice de mei, cînepă, *Perilla* cer ca noaptea să fie necondiționat de 10—12 ore. Dacă scurtăm noaptea la 9 ore, perioada lor de vegetație se lungește sau plantele nu ajung să înspice și să fructifice. Soiurile de mei și cînepă de la limita de nord a arealului de răspîndire au rămas plante de zi scurtă, dar pot să înspice repede și dacă noaptea este de 7 și chiar 6 ore.

Ca regulă generală se poate constata că cu cît mergem spre nord, caracterul de plantă de zi scurtă se atenuează și invers. M. Puşcaş (1947) a găsit că formele sudice de cînepă reacționează puternic la scurtarea zilei, pe cînd formele nordice au o reacție slabă, aproape neutră.

Adaptarea plantelor se constată și în ce privește intensitatea luminii în stadiul de lumină. Astfel, meiul din Irkuțk — Tulun se dezvoltă la fel de repede dacă sînt 14—12 ore pe zi de întuneric complet sau dacă în acest timp primesc o lumină slabă de 10 lucși. Soiurile sudice de mei din China se dezvoltă numai la întuneric, și chiar o lumină slabă de 0,5 lucși peste noapte întîrzie mult dezvoltarea lor. Această deosebire se explică prin existența amurgului prelungit la limita nordică de cultură a meiului. În regiunea Irkuțk aproape că nu există noapte propriu-zisă în perioada de vară.

Plantele s-au adaptat și la compoziția luminii. Aceasta este just în primul rînd pentru plantele de zi lungă. Plantele de zi lungă pot să folosească razele roșii pentru dezvoltarea lor (8—10 ore zi normală, restul raze roșii). Razele albastre — dimpotrivă — întîrzie mult dezvoltarea lor. Ca să se obțină același efect ca și cu razele roșii, trebuie raze albastre de 200 de ori mai intense. Această particularitate a plantelor de zi lungă s-ar putea explica prin formarea lor în regiunile nordice extreme, unde soarele în cursul zilei rămîne mult timp sub un unghi de 30° (14 ore pe zi). În această poziție, lumina solară este foarte bogată în radiații roșii (în nord, perioada de lumină în care predomină razele roșii este de 14 ore, în sud de 4 ore).

Condițiile de temperatură în stadiul de lumină au de asemenea o importanță deosebită. Dacă analizăm diferite soiuri dintr-o cultură, găsim diferențe care corespund condițiilor în care s-au format. Astfel, grînele și secara din nord (Leningrad sau nordul Canadei) își trec relativ repede stadiul de lumină la 7—9°. Grînele sudice din Arabia, Cipru, la această temperatură nu se dezvoltă de loc. Meiul din Irkuțk poate trece stadiul de lumină la 11°, cel din China — numai la 25°, iar *Setaria italica* — la 30°.

În concluzie, se constată că cerințele plantelor în stadiul de lumină ca și în stadiul de iarovizare sînt rezultatul adaptării la condițiile în care ele cresc, iar aceste adaptări s-au fixat prin selecție naturală și artificială.

C. FIZIOLOGIA POLENIZĂRII, FECUNDĂRII ȘI FORMĂRII FRUCTELOR LA PLANTE

1. Despre sexele plantelor

Trecerea plantelor prin stadiile de dezvoltare creează în țesutul meristematic al vîrfului de creștere din tulpină posibilitatea formării florilor. Părțile cele mai importante din floare sînt: androceul și gineceul care

conţin grăunciorii de polen şi ovula, iar în acestea, spermatiile şi oosfera. Prin unirea unuia din nucleele generative (spermatii) ale tubului polinic cu oosfera din ovulă ia naştere zigotul, şi din acesta, embrionul — planta nouă (fig. 139). Deci la formarea florilor, faza cea mai importantă este naşterea gameţilor — femeli şi masculi. Aceştia se găsesc fiecare în organe separate: gametul femel în pistil, gameţii masculi în stamine. La plantele hermafrodite, gameţii sînt în aceeaşi floare, la monoice — în flori separate, iar la dioice — pe plante deosebite. Deci florile pot fi *unisexuate* (la plantele dioice şi monoice) şi *hermafrodite* (adică cu ambele sexe în aceeaşi floare). Existenţa deosebirilor de sex şi a procesului de fecundare la plante a fost descoperită relativ tîrziu, şi anume în secolul al XVIII-lea de către I. Koehlreuter.

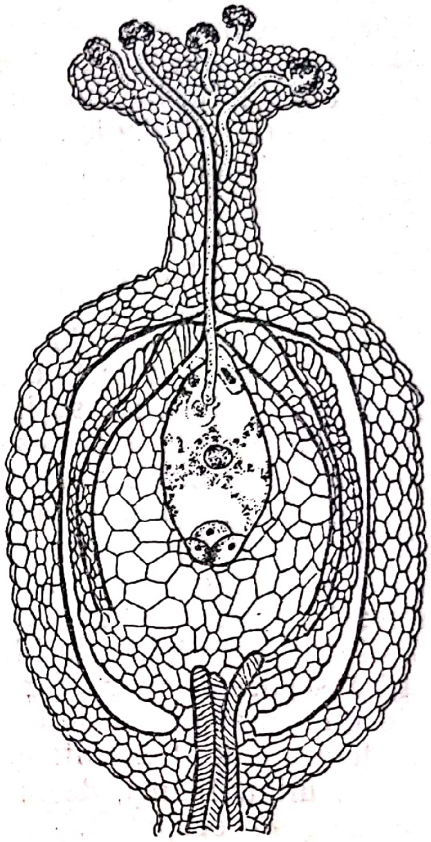


Fig. 139. Germinaţia polenului şi fecundarea ovulei (după Timireazev)

Importanţa condiţiilor de mediu asupra formării gameţilor şi asupra sensibilităţii lor a fost arătată de Darwin. De problema variabilităţii organizării florilor s-au ocupat şi alţi cercetători care au observat că aşezarea gameţilor în aceeaşi floare sau în flori separate poate să varieze la aceeaşi specie după locul unde creşte. Astfel, la *Ceratonia siliqua,* în Europa, staminele şi pistilul se găsesc în aceeaşi floare.

Darwin a arătat că *Escholazia californica* în Brazilia este autosterilă, iar în Anglia este autofertilă. Darwin îşi explica această comportare prin temperatura mai scăzută din Anglia.

S-a constatat că în lumină slabă la cînepă, în loc de stamine, în florile mascule apar pistile, şi uneori se formează chiar flori hermafrodite. Deci sexualizarea ţesutului sporogen este influenţată de condiţiile de mediu, în sensul că poate evolua fie într-o direcţie, fie în cealaltă.

Schimbarea sexului nu se face aşa de uşor la toate speciile. S-a constatat că lumina slabă schimbă uşor sexul la planta *Silene noctiflora,* dar nu are nici un efect la *Melandrium album.* Prin urmare, ţesutul embrionar are posibilitatea de a forma atît organe femele, cît şi organe mascule, însă depinde de factorii externi şi interni dacă se dezvoltă un sex sau altul.

Determinarea sexului este un proces fiziologic şi nu are caracterul rigid, prezentat mai ales de geneticienii formalişti. Studiul proceselor fiziologice, care determină formarea sexelor la plante, a luat două direcţii: influenţa condiţiilor de mediu şi deosebirile biochimice între indivizii de sexe diferite. Prima direcţie este o continuare a cercetărilor mai vechi. S-a studiat în special influenţa luminii la porumb şi cînepă. Plantele sînt normale numai dacă ziua este destul de lungă; ziua mai scurtă a produs intersexua-

lizări și chiar schimbarea sexului. Plantele semănate în seră în decembrie, deci la o zi scurtă, au avut flori hermafrodite la 88% din florile „femele" și la 93% din florile „mascule" (la cînepă).

Cercetări citologice la zambile au arătat că se pot forma celule mamă ale sacului embrionar, printre celule mamă de polen, în urma schimbării temperaturii. Prin coloranți vitali s-a stabilit că polenul modificat are o capacitate de reducere mai mare decît polenul normal.

Această diferență în capacitatea de reducere a țesuturilor femele sau mascule stă la baza metodei propusă de G. O. Manoilova (1923) pentru stabilirea sexului embrionului. Țesuturile femeești au o capacitate de reducere mai mare decît cele bărbătești. S-a stabilit că sexualizarea la dioice se manifestă în însăși însușirile protoplasmei. În celulele femeești, potențialul oxidoreducător (rH) este mai mic decît în celulele bărbătești ; în celulele femeești, conținutul în grăsimi și lipoizi este mai mare.

Toate cele arătate mai sus au fost stabilite la plante dioice care au plante mascule și plante femele. Aceleași procese stau însă și la baza formării indivizilor hermafroditi, doar că aici țesuturile „bărbătești" sînt în aceeași floare, împreună cu țesuturile „femeești". Dovadă în această privință sînt cazurile de sterilitate, care ne arată că și aici există procese fiziologice separate pentru formarea gameților, că fiecare din aceste procese este influențat diferit de condițiile de viață. Sterilitatea staminelor are loc mai frecvent decît sterilitatea ovarului.

În ultimul timp, de problema schimbării sexului la plante, în special monoice, s-a ocupat E. G. Minina, care a stabilit la porumb că îngrășarea numai cu potasiu favorizează formarea florilor mascule, pe cînd îngrășarea numai cu azot — apariția florilor femele. La castraveți, influența îngrășămintelor a fost și mai mare. La castraveți s-a mai constatat că umiditatea optimă în timpul diferențierii florilor favorizează formarea de flori femele.

E. G. Minina a arătat și o cale practică pentru favorizarea apariției florilor femele la castraveți și bostan : tratarea plantelor cu CO și etilen (0,1—1% concentrație). La *Spinacia oleraceea,* tratarea cu CO duce la apariția, la indivizii masculi, de caractere morfologice ale indivizilor femeli, iar la *Fragaria gradiflora* (plante cu flori hermafrodite), polenul devine steril.

Etilenul și CO acționează prin intermediul metabolismului. Plantele tratate au respirație mai redusă, deci scade capacitatea de oxidare a celulelor. Minina a stabilit, de asemenea, că frunza este organul care determină sexul, și deci se poate acționa localizat asupra frunzelor.

În ce privește modificările de vîrstă, Minina găsește că la plantele monoice tinere predomină florile mascule, iar la vîrstă mai înaintată, cele femele. Florile femele apar în număr mare după ce creșterea a mai slăbit în intensitate.

În concluzie, cercetările în legătură cu formarea sexului la plante au arătat că la baza apariției sexului stau procese biochimice. Mediul extern influențează aceste procese și favorizează apariția unui sex sau altul. Prin mijloace chimice (etilen, CO) se poate dirija procesul de sexualizare a plantelor, ceea ce este deosebit de important la castraveți, pepeni, bostani.

Scanned with OKEN Scanner

unde recolta depinde de numărul de flori femele. Se poate interveni și prin aplicarea de îngrășăminte și prin reglarea umidității în aer și sol.

Dezvoltarea caracterelor sexului femel se bazează pe deplasarea proceselor oxidoreducătoare în direcția proceselor reducătoare.

Oxidul de carbon acționează asupra fermenților respiratori în sens inhibitor, și prin aceasta se reduce potențialul oxidoreducător. Schimbările de vîrstă sînt hotărîtoare pentru apariția florilor mascule și femele. La plantele monoice, florile mascule apar mai devreme. Această etapă se poate reduce în mod artificial, favorizînd etapa formării florilor femele (prin CO). La plantele perene, mai ales la arbori, florile femele apar pe ramurile fiziologic mai bătrîne, adică pe ramurile dinspre vîrf.

2. Germinația polenului și interacțiunea dintre polen și stigmat

Grăunciorii de polen ajunși pe stigmat germinează, adică se formează un tub polinic, care pătrunde prin stil pînă la ovul, în care se găsește oosfera, ce se va uni cu unul din nucleele generative ale polenului.

Germinația polenului este asemănătoare germinației sporilor și este dirijată de substanțele chimice secretate de ovar. Orientarea tubului polinic prin stil este o mișcare chimiotropică.

In general, polenul germinează bine dacă timpul este frumos și cald, fără să fie însă arșiță. Frigul și ploile împiedică germinația polenului. De aceea, mersul vremii în epoca polenizării hotărăște de multe ori recolta de fructe.

Grăunciorii de polen au viață scurtă. Pentru încrucișări artificiale este necesar să păstrăm capacitatea de germinație a polenului cît mai mult timp. Cea mai bună păstrare se face în aer uscat și rece, în exicator. In felul acesta, polenul de la mai multe plante se poate păstra timp de cîteva săptămîni. La graminee, polenul trebuie păstrat în atmosferă umedă, ceea ce micșorează mult durata păstrării polenului (2—3 zile).

Grăunciorii de polen sînt foarte bogați în substanțe cu activitate fiziologică „ridicată", cum sînt: enzimele, auxinele și vitaminele. Aceste substanțe asigură o germinație rapidă și creșterea tubului polinic.

Dintre aceste substanțe, mai bine a fost studiată acțiunea vitaminelor: carotina, carotinoizii și vitamina E. Celelalte vitamine ca tiamina și riboflavina sînt reprezentate mai slab. În cantitate mai mare este și vitamina C (acidul ascorbic). Este interesant faptul că în polen se găsesc vitaminele care joacă rol și la fecundarea animalelor.

Conținutul de vitamine în polen variază mult la diferite plante. Carotina și carotinoizii se găsesc în cantitate mare la polenul de floarea-soarelui; nu se găsesc de loc la cînepă sau puțin la porumb. Carotinoizii nu se găsesc în plastide, ci dizolvați în picături de lipide, în celulele tapetului și ale țesutului sporogen (la floarea-soarelui, mac, *Arachis*).

Ovcearova observat că pe măsură ce se maturizează polenul, conținutul în carotină și carotinoizi crește mult (la bumbac). După cum s-a stabilit în ultimul timp, carotinoizii, joacă un rol important în fecundarea

plantelor inferioare și superioare. Kuhn (1941) consideră unii dintre carotinoizi ca hormoni sexuali (safranal — horman sexual mascul, picrocrocina — hormon femel) prin asemănarea cu hormonii sexuali animali.

Carotinoizii joacă rol încă de la *formarea polenului*. S-a constatat că dezvoltarea tapetului (țesutul nutritiv care înconjoară țesutul sporogen din stamine), a țesutului sporogen și a polenului se face în strînsă legătură cu carotinoizii dizolvați în picături de lipide. La început, carotinoizii se găsesc în tapet apoi trec în țesutul sporogen și se mențin aici pînă la formarea grăunciorilor de polen. Din grăunciorii de polen, carotinoizii ajung în pistil unde se acumulează în cantitate mare. Este interesant că pistilul primește carotinoizii și din petale.

Prin urmare, la fecundare iau parte activă polenul, pistilul și petalele. Între aceste organe are loc un schimb de substanțe, printre care sînt și vitaminele, în special carotinoizii.

Necesitatea carotinoizilor la germinația polenului a fost dovedită de mai mulți ani. Polenul de *Begonia,* de soc, lipsit de carotinoizi, germinează mai bine în prezența polenului bogat în carotinoizi (de salcîm). Dacă în mediul nutritiv artificial, pentru germinația polenului se adaugă carotinoizi, polenul germinează mai bine (fig. 140). De aici rezultă avantajul produs de amestecul de polen (metodă folosită de Miciurin) care este mai bogat în carotinoizi.

Pe lîngă carotinoizi, în eficacitatea amestecului de polen joacă un rol și alte vitamine și substanțe. Astfel, s-a arătat că dacă în loc de polen „străin", care se adaugă la polenul propriu, în cazul autopolenizării la plante alogame, pentru a asigura autopolenizarea, se dau vitaminele tiamina, riboflavina, carotina, acidul ascorbic sau auxine — autopolenizarea reușește. Aceasta ne arată că polenul „străin" ajută autofecundarea prin vitamine și alte substanțe necesare pentru germinația polenului „propriu". Acesta nu conține toate vitaminele sau alte substanțe de care are nevoie pentru germinație.

O altă vitamină care joacă rol la fecundare este vitamina C (acidul ascorbic). S-a dovedit că în polen, vitamina C este în stare redusă, iar în pistil în stare oxidată. La o zi de fecundare, în pistil crește mult forma redusă și scade aproape de două ori cantitatea de formă oxidată. Trecerea din forma oxidată în forma redusă — după cum se vede — joacă un rol important la fecundare. Această transformare favorizează germinația polenului. Dacă în mediul de germinație se adaugă acid ascorbic, polenul de bumbac a germinat mult mai bine.

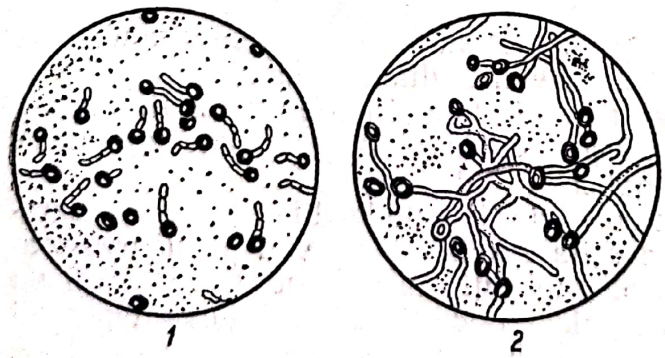


Fig. 140. Influența carotinei asupra germinației polenului de cînepă:
1 — mediu fără carotină; *2* — carotină 0,005%

Dar germinația polenului nu depinde numai de vitaminele pe care le conține, ci și de secrețiile pistilului. S-a constatat că stigmatul de

bumbac secretă vitaminele tiamină, acid nicotinic, piridoxină, biotină și acid pantotenic — toate substanțe active în procesele de creștere. Este interesant că secreția pistilului este stimulată chiar de prezența și germinația polenului. Pe lîngă vitamine, stigmatul secretă enzime, zaharuri, acizi și alte substanțe.

Vitaminele iau parte și la formarea ovarului. Aceasta se vede din faptul că după fecundare, conținutul în acid ascorbic crește mult în ovar, după cum se vede din tabelul 42.

Tabelul 42

Conținutul în acid ascorbic în ovulele fecundate și nefecundate de bumbac, soiul 108 F
(în mg la 100 g subst. proaspătă)
(După Ovcearov)

Starea ovulelor	Forma acidului ascorbic		Total
	redus	oxidat	
Ovule fecundate	5,60	81,90	87.50
Ovule nefecundate	24,33	39,91	63,24

Determinările s-au făcut la o zi de la fecundare. Intensificarea procesului de oxidare arată că în ovar se intensifică procesele sintetice. S-a mai constatat că ovulele fecundate sînt mai bogate în vitamine, zaharuri, fosfor, azot. Ovulele nefecundate au respirația redusă și un conținut mic din substanțele enumerate.

În concluzie se vede că vitaminele (carotinoizii, vitamina C etc.) joacă un rol important în procesul de fecundare, începînd de la formarea gameților polenului și terminînd cu creșterea embrionului.

Desigur că tabloul prezentat este numai o parte din metabolismul fecundației, pe care cercetările viitoare îl vor analiza mai amănunțit. Totuși, și atîta ne ajută să înțelegem în ce constă sterilitatea polenului, influența ovarului de la planta polenizatoare adus pe ovarul plantei mamă (care se polenizează) și rolul amestecului de polen. Pentru germinația polenului este necesar un metabolism favorabil, care nu există totdeauna în cazul încrucișărilor, dar care poate fi creat prin amestec de polen sau prin acțiunea ovarului propriu. Ovarul propriu și amestecul de polen aduc pe stigmat substanțe necesare pentru germinația polenului ales de noi pentru încrucișare.

BIBLIOGRAFIE

1. Bărbat, I. și Palfy, Fr., *Stadiul de iarovizare și stadiul de lumină la plante*, București, Acad. R.P.R., 1957.
2. Lisenko, T. D., *Agrobiologia*, București, Ed. de Stat, 1950.
3. Sălăgeanu, N., Chirilei, H. și Iliescu, Em., *Despre reacția la lumină la grîul de primăvară Lutescens 62 (AM) și ovăzul de Tg. Frumos 9*, în „Comunicările Academiei R.P.R.", București, 1952, nr. 11—12.
4. Sălăgeanu, N., Chirilei, H. și Iliescu, Em., *Despre durata stadiului de lumină la grîul de primăvară Lutescens 62 (AM) și ovăzul de Tg. Frumos 9*, în „Comunicările Academiei R.P.R.", București, 1953, nr. 5—6.
5. Valuță, Gh., *Iarovizarea plantelor*, București, 1954.

Capitolul IX

REZISTENȚA PLANTELOR LA CONDIȚII EXTERNE NEFAVORABILE

A. REZISTENȚA LA GER A PLANTELOR

1. Stabilirea cauzelor pieirii plantelor la acțiunea temperaturilor negative și a temperaturilor pozitive scăzute

Plantele din regiunile reci și temperate au de suportat acțiunea unor temperaturi scăzute, mai ales în timpul iernii și uneori chiar și primăvara devreme, precum și toamna tîrziu.

Forma, precum și starea sub care suportă plantele acțiunea temperaturilor scăzute este diferită. Arborii, arbuștii cu frunze verzi tot timpul anului, cerealele de toamnă, trifoiul, lucerna, ierburile multianuale suportă în mod activ acțiunea temperaturilor negative din timpul iernii. Esențele lemnoase, ale căror frunze cad în mod obișnuit toamna, trec prin iarnă în mod pasiv, planta întreagă găsindu-se în stare de repaus. Alt grup de plante suportă rigorile iernii tot în mod pasiv, sub formă de organe în stare de repaus, cum sînt: tuberculii, bulbii, rizomii, semințele.

Formele de dăunare a temperaturilor joase sînt variate. La plantele ierboase suferă în primul rînd partea aeriană, și în caz extrem tulpinile subterane și rădăcinile. La plantele lemnoase, mai sensibili sînt lăstarii, în care procesele fiziologice de maturare nu s-au terminat în întregime. Partea cea mai sensibilă din lăstar sînt mugurii.

Pagubele produse de temperaturile joase ajung în unii ani la cifre uriașe. Astfel, în condițiile țării noastre am avut pagube mari la cereale în timpul iernilor din anii 1929 și 1941. În unele condiții ecologice, cerealele pot pieri fie datorită gerurilor din timpul iernii, fie datorită chiar și temperaturilor relativ scăzute din timpul primăverii, care surprind plantele în faza de creștere, moment în care prezintă o slabă rezistență chiar și soiurile care s-au dovedit ca valoroase din acest punct de vedere. Pagube mari cauzează gerul și pomilor fructiferi, viței de vie, putînd desființa plantații întregi în anumiți ani.

Înghețurile tîrzii de primăvară cauzează pagube mari culturilor de porumb, de cartofi, de castraveți, roșiilor și fasolei. Înghețurile timpurii

din toamnă sînt dăunătoare zarzavaturilor, bumbacului, porumbului și cartofilor.

Primele teorii privind cauzele pieirii plantelor sub acțiunea temperaturilor negative au avut un caracter unilateral. Explicațiile date au fost de natură fizico-chimică, fiind în general prea puțin cuprinzătoare. Unele din ele au fost chiar simpliste, cum a fost aceea a înghețării apei în vasele lemnoase. De la primele verificări s-a constatat că ea nu corespunde realității.

O altă părere, preconizată și susținută de către Sachs (1860), a fost aceea că moartea țesuturilor și organelor nu survine la înghețare, ci la dezghețare. Acest fapt trebuie atribuit, după acest autor, incapacității plantelor de a-și reface turgescența normală prin topirea gheței formate în timpul înghețării. Desigur că pot avea loc și astfel de fenomene în natură. În literatura de specialitate se citează cazul că în Crimeea s-a putut observa, în anul 1947, pieirea frunzelor de caiși în primăvară, tocmai în urma unui fenomen de dezgheț rapid din timpul zilei.

Müller, Thurgau și Molisch susțin că pieirea survine în urma deshidratării protoplasmei pe seama cristalelor de gheață ce se formează. Alții atribuie distrugerea organismului acțiunii mecanice a gheții formate. S-a căutat la un moment dat să se facă o sinteză a explicațiilor privind cauzele morții țesuturilor vegetale prin îngheț. N. A. Maksimov (1948) vede cauza pieirii prin îngheț în coagularea protoplasmei sub acțiunea cristalelor de gheață ce se formează în spațiile intercelulare, care pot distruge structura acesteia prin presiunea mare pe care o exercită, cît și prin deshidratarea ce are loc în acest caz. O astfel de formulare desigur că nu suferă decît într-o măsură mai redusă de unilateralitate.

Faptele experimentale au dovedit însă că numai deshidratarea sau numai presiunea cristalelor de gheață nu pot fi acceptate drept cauză unică a morții celulelor. Chiar și generalizările numai pe baza unor anumite experimentări pot genera greșeli. În experiențele lui Becquerel cu semințe s-a constatat că țesuturile vegetale nu pier nici la temperaturi negative de —90 °C, dacă nu prezintă un conținut de apă care să permită formarea de gheață. Dacă ar fi să tragem concluzii numai pe baza acestora, ar trebui să concludem că celulele nu mor dacă nu se formează gheață. Dacă mai avem în vedere că chiar și celulele turgescente pot rămîne nevătămate la temperaturi sub 0 °C, cînd sînt supuse condițiilor de suprarăcire, este clar că ne putem gîndi la astfel de generalizări. De altfel, fenomenul de suprarăcire se poate întîlni frecvent și în condiții naturale, datorită atmosferei uscate și a lipsei de rouă. Starea de suprarăcire a apei în celule poate să dureze chiar cîteva săptămîni. Astfel, cartofii suportă în stare de suprarăcire —2 °C și —3 °C timp îndelungat, iar dacă se formează gheață, pot pieri chiar la —1 °C.

Dar o concluzie care să stabilească că moartea țesuturilor poate apărea numai cînd se formează gheață este infirmată și ea de alte date experimentale. Alechin (1950) arată că în Munții Altai și în Alpi se poate observa frecvent înghețarea, în timpul nopții, a corolelor de flori desfăcute, care devin fragile ca sticla, iar dimineața își revin la normal prin dezghețare progresivă. N. A. Maksimov a constatat la fel că frunzele de conifere pot forma gheață în extremul nord într-o așa măsură, încît ele

pot fi pisate într-o piuliță sub formă de praf, și cu toate acestea ele nu mor în urma înghețării. Deci formarea cristalelor de gheață în țesuturi nu este cu efect mortal în toate împrejurările.

Înseamnă că esența fenomenelor și complexul cauzal ce apare în plantă, cînd ele suportă acțiunea temperaturilor scăzute, pot fi foarte variate. „Dacă formarea gheții în țesuturi poate cauza moartea acestora, nu trebuie pierdut din vedere faptul că se pot cita multe alte cauze ale morții plantelor. Observații sistematice arată că diferite părți ale plantelor ce au de suportat acțiunea înghețului mor de-abia la 1—2 luni după îngheț, cum se întîmplă uneori cu uscarea ramurilor de schelet la culturile pomicole. Se mai poate sublinia faptul că efectul dăunător al înghețului poate apărea și în urma exfolierii scoarței și a crăpăturilor ce apar uneori în țesuturi. Brumele tîrzii de primăvară pot distruge în întregime florile pomilor fructiferi, iar într-o formă mai ușoară de calamitate pot provoca neajunsuri în ce privește fecundarea lor.

În special oscilațiile mari de la temperaturi pozitive la temperaturi negative, venirea bruscă a gerului, durata de acțiune peste o anumită limită fac ca plantele să suporte mai greu temperaturile scăzute. Uneori, la cerealele de toamnă, precum și la pomii fructiferi pot pieri în întregime frunzele sau o bună parte dintre muguri. În aceste cazuri există posibilitatea să stimulăm regenerarea țesuturilor din nodul de înfrățire la cereale, iar la pomi să provocăm trezirea mugurilor. Se întîmplă însă cazuri cînd plantele sînt așa de slăbite, încît nu pot dispune decît de o capacitate redusă de regenerare, așa că măsurile de stimulare se dovedesc a fi insuficiente pentru salvarea recoltei normale. Mai trebuie să insistăm și asupra faptului că anumite împrejurări, care pot fi hotărîtoare într-o anumită situație, pot fi neesențiale în alte împrejurări.

În ultimul timp s-a impus și o altă latură de cercetare în problema rezistenței plantelor la temperaturi scăzute în afara aspectelor fizico-chimice. Acestea se referă la efectul acțiunii temperaturilor scăzute asupra metabolismului plantei. Această nouă orientare permite să se includă la acest capitol și rezistența la brume, precum și rezistența unor specii termofile la temperaturi scăzute, însă pozitive. Se știe că tufele de ceai pot pieri la +1 °C—+2 °C, iar chiparosul chiar la +7 °C—+8 °C. Plantele din climatul temperat, de proveniență sudică, cum sînt castraveții și bumbacul, pot pieri la temperaturi deasupra lui 0 °C, cînd, desigur, nu poate fi vorba de formare de gheață.

La plantele tropicale, cum este cazul arborelui de chinină, moartea survine la temperaturi care nu provoacă nici formare de gheață, nici deshidratare, ci din cauza unui dezechilibru în coordonarea diferitelor procese. S-a dovedit că la o scădere a temperaturii de la +25 °C la +5 °C, activitatea catalazei scade de 28 de ori, iar a oxidazei de 14 ori. Aceasta înseamnă că la temperatura de +5 °C, formarea apei oxigenate are loc de două ori mai repede decît descompunerea ei, ceea ce duce inevitabil la intoxicarea plantei.

Și alți cercetători pun la baza fenomenelor de viață schimbul de substanțe, și nu starea coloidal-chimică a protoplasmei. După aceștia, distrugerea materiei vii nu este neapărat obligatorie pentru moartea ei. Aceasta

poate surveni cînd apare dezechilibrul în corelația dintre sinteză și degradare. Dezechilibrul acesta poate apărea atît în timpul înghețului, cît și al dezghețului, sau numai la o deshidratare, precum și atunci cînd acționează temperaturile scăzute pozitive asupra unor plante termofile. Desigur că nici restructurarea metabolismului nu epuizează total nici cauza morții plantelor la temperaturi scăzute și nici aspectele adaptării plantelor la condițiile nefavorabile din timpul iernii.

2. Dezvoltarea însușirii de rezistență la ger

Este acceptată ideea că rezistența la ger a plantelor se realizează pe baza călirii lor. Ideea călirii plantelor la îngheț a fost lansată de către Harvey (1918) și continuată de Newton (1924), Tumanov (1926), Martin (1927) și alții. De atunci și pînă astăzi s-a scris mult în legătură cu acumularea zaharurilor, modificarea complexului proteic din protoplasmă, precum și despre viscozitate și permeabilitate ca factori hotărîtori ai rezistenței la ger.

Practica a dovedit faptul că însușirea de rezistență la îngheț nu este o însușire constantă. Ea se dezvoltă sub influența temperaturilor din ce în ce mai scăzute din toamnă și sub influența scurtării zilelor din acest sezon. Numai așa se poate explica de ce unele soiuri pot suporta înghețuri mari în unii ani, în alți ani pier la înghețuri pe care altădată le-au suportat foarte ușor. La fel, numai în aceste condiții se poate explica de ce în anumite regiuni, unele plante și unele soiuri sînt rezistente, iar în altele sînt nerezistente, și că rezistența este minimă în timpul verii, atingînd un maxim în timpul iernii. Se pot stabili, de asemenea, diferențe în ce privește rezistența la ger de la organ la organ sau de la un țesut la alt țesut al aceluiași organ. Toate acestea ne dovedesc faptul incontestabil că această însușire depinde de interdependența strînsă a plantei cu mediul înconjurător și că ea variază în cursul vegetației.

I. I. Tumanov (1960) arată că provocarea capacității de călire în organism este posibilă numai după modificarea radicală a metabolismului, numai în cazul unei slăbiri puternice a activității biochimice și fiziologice. Această stare fiziologică are drept consecințe o slăbire, și apoi o încetare a creșterii. Pentru esențele lemnoase, oprirea creșterii se realizează după intrarea lor în starea de repaus. Cerealele de toamnă, trifoiul și lucerna nu intră în stare de repaus, dar au nevoie și ele de frînarea creșterii pentru o bună călire. Ultimele cercetări arată că pentru aceasta este necesară și o reducere a substanțelor activatoare de creștere din celule. În timpul încetării creșterii se asigură posibilitatea plantei de a acumula în țesuturile ei rezerve de diferite substanțe, care sînt folosite de către organism în perioada rece drept combinații de apărare.

Este important din punct de vedere practic să stăpînim și să dirijăm bine condițiile ce contribuie la trecerea din timp în starea de repaus a esențelor lemnoase și să condiționăm reținerea din timp a creșterii cerealelor de toamnă, a trifoiului și a lucernei, pentru ca să fie create condițiile nece-

sare unei bune călîri. Cît este de important acest fapt rezultă din cîteva observații. Astfel, puieții de mesteacăn călîți în condiții de iluminare continuă, cînd își prelungesc vegetația pînă toamna tîrziu și cînd intră greu în aceste condiții în stare de repaus, manifestă leziuni de înghețare chiar la —15 °C, dar dacă sînt aduși în prealabil în stare de repaus toamna devreme, cu ajutorul tratamentelor de „zi scurtă" și călîți în aceste condiții, pot suporta și —60 °C. Prezintă o deosebită importanță pentru păstrarea duratei stării de repaus condițiile locale la care sînt adaptate plantele. Mărul siberian și părul de Usuri se mențin în timpul iernii în repaus profund în ariile lor de răspîndire, unde ei sînt adaptați, sau în condiții de mediu similare acestora. Dacă sînt cultivați în puncte ecologice unde avem de-a face cu toamne lungi, cu perioade frecvente de încălzire între toamnă și iarnă, ei nu pot păstra starea de repaus și pot îngheța ușor primăvara, deși se știe că se disting printr-o rezistență potențială excepțională.

Călirea cerealelor decurge în două etape. Prima etapă durează 5—15 zile, la temperaturi pozitive între 0°—+6 °C. A doua etapă decurge la temperaturi negative între 0° pînă la —6 °C. Pentru prima etapă sînt favorabile zilele de toamnă senine cu soare și nopți răcoroase. În acest timp se acumulează zaharuri solubile în frunze și în nodul de înfrățire. În etapa a doua, monozaharidele difuzează în protoplasmă, unde manifestă o acțiune proteguitoare.

La plantele lemnoase, procesul călirii constă în acumularea de amidon în măduvă, în parenchimul lemnos, în scoarță, precum și la baza mugurilor, începînd din a doua jumătate a verii. Toamna, la temperaturi negative scăzute, nu prea mari, amidonul se transformă în zaharuri solubile care protejează protoplasma față de acțiunea ulterioară a temperaturilor negative mari. În climatele aspre, amidonul se poate transforma la conifere și mesteacăn în ulei. Tot în aceste condiții, o parte din proteine pot fi hidrolizate parțial. Aceste transformări asigură o și mai bună rezistență a acestor esențe la acțiunea gerurilor aspre.

Cercetările mai noi ale lui I. I. Tumanov (1960) se referă în special la cercetarea fazei a doua de călire la ramurile tăiate de măr, mesteacăn, pin și coacăz negru, atît în condiții de laborator, cît și de cîmp. Fitotronul modern, în care și-a efectuat aceste cercetări, a permis să se studieze rezistența la ger la temperaturi scăzute de pînă la —195 °C. S-a constatat că prin răcire lentă, treptată se poate ridica rezistența la ger chiar și la temperaturi scăzute, care nici nu pot fi întîlnite în condiții naturale.

Din compararea comportării materialului cercetat în condițiile naturale de iarnă și cele experimentale din fitotron, a ieșit foarte bine în evidență cauza rezistenței insuficiente a pomilor fructiferi din livezi. Cauza constă în oscilațiile nefavorabile ale temperaturilor negative cu temperaturile pozitive în condițiile de mediu natural, întrucît în aceste condiții, călirea nu poate atinge maximul posibil.

S-a mai stabilit că moartea țesuturilor înghețate nu se produce nici pe baza deshidratării și nici pe baza deformațiilor mecanice provocate de cristale de gheață formate în spațiile intercelulare, cum s-a susținut pe baza cercetărilor mai vechi. S-a putut dovedi, în experiențe de înghețare la —195 °C, că atît coacăzul negru, cît și mesteacănul pot scăpa cu viață

Scanned with OKEN Scanner

chiar cînd s-a format gheață din belșug în spațiile intercelulare. Folosindu-se o tehnică de cercetare adecvată, unde se puteau urmări secțiunile microscopice la temperaturi foarte scăzute, unii cercetători au dovedit că este de cea mai mare importanță a se stabili locul unde se formează gheață în celule. Dacă ea se formează în interiorul protoplasmei, în acest caz îi poate distruge structura submicroscopică, ceea ce cauzează întotdeauna moartea celulei. Astfel de cazuri se observă în general la răciri bruște și mai ales la plantele slab rezistente la ger. La răcire treptată, gheața se formează numai în spațiile intercelulare pe seama trecerii apei din protoplasmă în aceste spații. Pe baza acestor cercetări recente se poate susține ideea că procesul de călire mărește în general rezistența plantelor la îngheț, apără celulele împotriva formării gheții în interiorul protoplasmei și înlesnește ieșirea la timp a apei din protoplasmă în spațiile intercelulare. Această situație este mai avantajoasă pentru plante, întrucît gheața formată în spațiile intercelulare nu este totodată mortală.

S-a dovedit experimental că viteza ieșirii apei din protoplasmă, chiar și la geruri mari, spre spațiile intercelulare este mai mare la speciile cele mai rezistente la îngheț. Cea mai mare viteză s-a constatat la coacăzul negru, apoi, în ordine descrescîndă, la mesteacăn și la pin. În condițiile unor geruri care apar brusc, cînd acționează temperaturi negative considerabile, chiar și la soiurile rezistente la ger, ieșirea apei din protoplasmă este mult îngreuiată. În această situație, apa se suprarăcește mai întîi, și apoi îngheață în interiorul celulelor, — provocînd în cele din urmă moartea lor.

De asemenea, s-a mai stabilit că în procesul călirii mai apar și alte modificări, cum ar fi, de exemplu, apropierea moleculelor ca o consecință a deshidratării și micșorării gradului de dispersie sub influența temperaturilor joase. Acest fenomen ar fi o reconstrucție specifică a protoplasmei.

Această prezentare sumară a bazelor teoretice privind dezvoltarea rezistenței plantelor la îngheț ne permite să elaborăm unele procedee pentru sporirea rezistenței la îngheț a plantelor de cîmp și din livadă.

O primă problemă constă în a se lua măsurile corespunzătoare pentru a feri mai bine semănăturile și plantațiile contra oscilațiilor accentuate de temperatură, care reține anumite transformări calitative din celule, împiedecînd parcurgerea cu succes în special a celei de a doua faze de călire. Măsurile de prevenire pentru cereale sînt mai ușor de luat, întrucît putem dirija călirea prin alegerea judicioasă a epocii de însămînțare și prin favorizarea depunerii unui strat de zăpadă deasupra plantelor. Problema se pune mai acut pentru pomii fructiferi. De ajutor este aici așezarea perdelelor de protecție contra vîntului, care sînt în măsură să asigure o răcire mai lentă a pomilor, ceea ce permite o mai bună călire a lor. Citricile se vor acoperi, iar tulpinile tîrîtoare se vor mușuroi. Văruirea tulpinilor este o altă măsură pentru combaterea „arsurilor" la apariția frigului din timpul nopții.

O metodă puțin folosită pînă în prezent este utilizarea agenților chimici pentru favorizarea unei rezistențe corespunzătoare la îngheț. Studiul duratei perioadei de vegetație și alegerea formelor adaptate mersului factorilor de mediu din locul de cultură constituie, de asemenea, una din

Scanned with OKEN Scanner

măsurile de perspectivă pentru ridicarea capacității de călire. Prin măsuri agrotehnice corespunzătoare trebuie să forțăm creșterea pomilor fructiferi în prima jumătate a perioadei de vegetație și slăbirea ei spre toamnă. Aceasta se poate realiza printr-un sistem corect de îngrășare și de lucrare a solului, precum și prin alte procedee. Aceste măsuri trebuie aplicate cu rigurozitate științifică, mai ales pentru livezile unde avem de întîmpinat dificultăți la pregătirea plantelor pentru o bună iernare, cum ar fi cazul pomilor care au suferit în iarna precedentă sau unde există neajunsuri de pe urma insuficienței de nutriție minerală, sau de pe urma excesului de azot. Măsuri corespunzătoare trebuie să se ia și în cazul livezilor în care se constată intermitențe în procesul de fructificare, deoarece se știe că în anii cu fructificare supraabundentă procesele de călire decurg anevoios. Mai amintim și faptul că pe solurile prea acide trebuie luate măsurile necesare de administrare prealabilă a amendamentelor.

3. Rezistența la ger a plantelor de cultură

Prezintă o importanță deosebită din punct de vedere practic stabilirea bazelor fiziologice ale rezistenței la ger a plantelor de cultură, pentru a se putea arăta perspectivele de îmbunătățire ale acestei însușiri și mai ales, pentru a se putea lua măsurile concrete necesare din acest punct de vedere.

Cercetările lui H. Chirilei (1960) au dovedit că elementul aluminiu, aplicat sub formă de îngrășămînt, are un efect favorabil asupra rezistenței la ger a grîului. Un efect asemănător s-a constatat și la alte plante agricole. N. Cojeneanu (1953) a dovedit acest fapt pentru castraveți, dovleac, muștar și hrișcă.

Soiurile noastre de grîu au fost studiate în ce privește rezistența lor la ger de către N. Giosan și colaboratorii săi (1959). Ei găsesc că soiurile cele mai rezistente se caracterizează printr-un conținut mai mare în glucide solubile și un conținut total de apă mai redus. I. Puia (1959) diferențiază soiurile noastre de grîu pe baza capacității lor de legare a apei. Soiurile care prezintă o fracțiune mai mare de „apă legată" sînt mai rezistente decît cele cu un conținut mai redus.

Cercetările recente ale lui J. Levitt și colaboratorii săi (1961) arată că rezistența la ger a grîului și a altor plante de cultură este legată cantitativ de conținutul sulfhidric proteic (SH).

Și la porumb se poate vorbi de o călire ca și la cerealele de toamnă. După D. Buican (1961), călirea începe la +5° pînă la +10 °C. Prin călire suferă modificări o serie de indici biochimici și fiziologici. Astfel, scade intensitatea respirației, crește conținutul în zaharuri solubile, concentrația sucului celular, precum și viscozitatea.

D. F. Protenko și P. S. Mișustina (1960) studiază influența temperaturilor scăzute asupra porumbului. Ei constată că temperaturile scăzute au un efect negativ încă din timpul germinării cariopselor. Anume, ele micșorează capacitatea de inhibiție a lor. Un efect similar s-a constatat și de către I. Pușcaș și colaboratorii săi (1960) la materialul de porumb luat în cultură la noi în țară. D. F. Protenko și P. S. Mișustina

au mai dovedit că tratarea semințelor de porumb cu sulfat de mangan are un efect favorabil asupra capacității de acumulare de zaharuri solubile în frunze.

Formele umblătoare de orz de toamnă prezintă în general o slabă rezistență la ger. În unele împrejurări, ele rezistă totuși satisfăcător. N. G i o s a n și colaboratorii săi (1961) găsesc că această rezistență se realizează în urma inhibării creșterii plantelor sub influența zilelor scurte din toamnă. Cu cît inhibarea creșterii este mai puternică, cu atît și rezistența plantei va fi mai mare.

Trifoiul trebuie să suporte și el înghețurile din timpul iernii. În procesul de călire al acestei plante, suferă modificări esențiale atît metabolismul său glucidic, cît și cel proteic.

Recent s-a găsit un conținut ridicat de zaharuri și de azot în rădăcinile acestei plante toamna, în comparație cu perioada de vară. Se arată de către unii cercetători că soiurile de trifoi cele mai rezistente la ger manifestă o capacitate mai pronunțată de reducere a creșterii în zilele de toamnă. Pe măsură ce zilele încep să se scurteze toamna, în aceeași măsură substanțele plastice iau calea, într-o proporție tot mai mare, spre organele subterane și spre baza lăstarilor scurți. Autorul vede în acest fapt o restructurare a proceselor fiziologice în direcția pregătirii plantelor pentru iernare.

Tabelul 43

Influența termenelor de cosire asupra rezistenței la ger a plantelor ierboase perene

Nr. de zile de la cosire pînă la apari ia gerului	Faza de creștere (după cosire) înainte de ger	Trifoi		Lucernă albastră	Sparcetă	Sulfină
		cu două coase	cu o coasă			
70	Înfrățire și formarea mugurilor care iernează	ridicată	f. ridicată	f. ridicată	ridicată	f. ridicată
60	Începutul înfrățirii	slabă	ridicată	ridicată	mijlocie	slabă
40	Creștere după cosire	f. slabă	mijlocie	mijlocie	slabă	f. slabă
30	Începutul creșterii după cosire	f. slabă	mijlocie	mijlocie	mijlocie	f. slabă

O influență hotărîtoare asupra formării mugurilor de regenerare cît și asupra rezistenței la ger o exercită datele la care se efectuează cositul. Din datele tabelului 43 reiese clar că trebuie să se asigure pînă la venirea gerurilor o creștere suficientă a mugurilor ce iernează la lucernă și sulfină, precum și a lăstarilor scurți la trifoi. S. S. S a i n (1960) apreciază că toamna se poate face un prognostic precis pentru trifoiul roșu și raigras, în legătură cu gradul de pregătire pentru iernare. Lipsa lăstarilor scurți sau numărul lor redus din toamnă este un indiciu că aceste plante vor reuși să iasă din iarnă doar într-o măsură redusă sau chiar de loc.

Scanned with OKEN Scanner

La cartofi, în afara posibilităților de mărire a rezistenței lor la brume, prin metoda încrucișărilor cu formele sălbatice, unii cercetători mai văd soluții și pe calea aplicării de substanțe chimice. S-au obținut rezultate pozitive prin tratarea tuberculilor cu soluții 0,25% de azotat de amoniu și cu soluții de sulfat de mangan de 0,3%.

Pentru rezistența la îngheț a viței de vie, un rol hotărîtor îl are coacerea fiziologică a lăstarilor, intrarea în stare de repaus a mugurilor, precum și desfășurarea proceselor de călire. Pentru primii doi factori este nevoie de temperaturi relativ scăzute, iar pentru călire, de temperaturi scăzute negative.

Tabelul 44

Dinamica conținutului total în zaharuri în frunzele de viță de vie (în % din greutatea uscată)
(după S. I. Mininberg)

Varianta	Data analizei							
	8. VII	20. VII	8. VIII	20. VIII	10. IX	27. IX	16. X	29. X
Martor	6,94	7,14	7,24	7,32	6,94	5,76	6,76	5,40
NPK	7,59	6,81	7,16	7,24	7,68	7,37	7,36	5,61
NPK+Mn	7,80	8,16	8,44	8,25	7,62	6,28	7,54	6,01
NPK+B	7,62	7,66	8,18	8,0	7,95	6,33	7,87	5,96
NPK+MN și B	7,89	8,02	8,53	8,69	7,66	6,34	7,59	5,97

S. I. Mininberg (1960) dovedește influența pozitivă a manganului și borului asupra conținutului total în zaharuri, precum reiese din datele tabelului 44. Autorul mai arată că sub influența manganului, mai are loc și o creștere a conținutului în clorofilă și a intensității fotosintezei.

Rezistența la îngheț a viței de vie depinde în mare măsură de ansamblul procedeelor agrotehnice. Se constată că încărcătura prea mare de ochi, cît și desimea prea mare a tufelor au drept urmare o scădere apreciabilă a conținutului în substanțe de rezervă, și strîns legat de aceasta se realizează o slabă pregătire a organismului pentru condițiile de iernare.

Problema rezistenței la îngheț a pomilor fructiferi prezintă un interes deosebit atît din punct de vedere teoretic, cît și practic. E. Z. Oknina și T. N. Pustovoitova (1960) se preocupă de modificările biochimice și fiziologice ce au loc la pomii fructiferi în faza de călire. Ei consideră ca o reacție de răspuns a plantei fenomenul de individualizare a protoplasmei față de lipsa unui complex de factori externi necesari pentru creștere, cum ar fi scăderea temperaturii, scurtarea duratei zilei, lipsa de apă și de elemente nutritive. Și H. Chirilei și M. Stoian (1953, 1957) atrag atenția asupra individualizării protoplasmei la cerealele de toamnă și la pomi (fig. 141) în timpul cît au de suportat înghețul.

Cercetătorii mai sus citați au mai constatat că în timpul călirii are loc o scădere a gradului de hidratare, a gradului de imbibiție și a permeabilității protoplasmei, precum și o creștere a conținutului în „apă legată". În celulă se depun substanțe de rezervă greu solubile, cum sînt: proteinele, lipidele, complexul tanant-lipoid, pe seama micșorării conținutului de aminoacizi liberi.

Scanned with OKEN Scanner

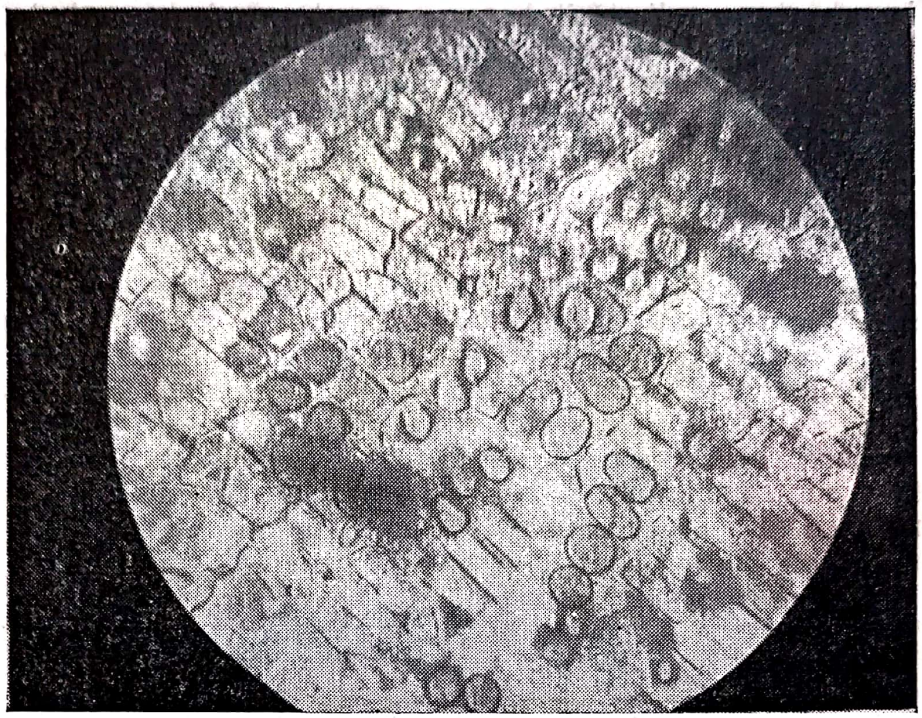


Fig. 141. Individualizarea protoplasmei celulelor din scoarța de măr în timpul iernării (după H. Chirilei și M. Stoian)

Datele tabelului 45 sînt concludente, reieșind clar faptul că în perioada decembrie nu se constată aminoacizi liberi în esențele rezistente la îngheț, cum sînt mărul și cireșul. Aminoacizii rămîn într-o cantitate mai mare în această lună doar la speciile nerezistente, cum sînt caisul și piersicul.

Tabelul 45

Prezența aminoacizilor liberi în mugurii culturilor pomicole în perioada de repaus (Krîmskii, 1957)

(după E. Z. Oknina și T. V. Pustovoitova)

Specia	Octombrie	Decembrie
Mărul Golubek de Riga	Alanină, arginină, acid glutamic, acid aspartic, asparagină, cistină	Nu există
Cireșul Ispolniskaia (uriaș)	Prolină, alanină, acid glutamic	Prolină
Prunul Anna Späth	Alanină, prolină, acid glutamic	Prolină, alanină, asparagină, acid glutamic
Caisul Krasnoscenkii (rolii)	Prolină, alanină, arginină, asparagină, acid glutamic, cistină, histidină	Prolină, alanină, asparagină
Piersic Davota	Prolină, alanină, arginină, asparagină, acid glutamic, acid aspartic, glicocol, cistină, histidină	Prolină, alanină, arginină, asparagină, acid glutamic, glicocol

În timpul întreruperii stării de repaus încetează și starea de individualizare a protoplasmei prin restabilirea legăturilor protoplasmatice de la celulă la celulă și are loc descompunerea progresivă a combinațiilor lipoproteice, cu formarea amino-acizilor liberi. Rezistența pomilor la iernare depinde deci de întreaga desfășurare prealabilă a dezvoltării. Ea depinde de felul cum decurg procesele de creștere în timpul verii, de procesele de maturare a lăstarilor și de procesul de călire.

L. I. Sergheev (1959) a urmărit comparativ creșterea lăstarilor diferitelor specii arborifere și a pomilor fructiferi, constatînd că formele cele mai rezistente la îngheț își încheie creșterea mai din vreme, în formele nerezistente manifestă o creștere prelungită în toamnă. Această întîrziere se răsfrînge în mod nefavorabil asupra modificărilor morfofiziologice ulterioare, care asigură pregătirea pentru iernare. El vede rolul agrotehnicii constînd tocmai în a dirija cu pricepere irigarea, aplicarea îngrășămintelor și a substanțelor stimulatoare pentru scurtarea creșterii lăstarilor ca să rămînă timp suficient pentru terminarea în bune condiții a proceselor de călire.

4. Alte cauze nefavorabile plantelor în condițiile iernării

În timpul iernării, plantele pot pieri nu numai din cauza gerului, dar și din alte cauze. Repetarea înghețului și a dezghețului favorizează „descălțatul cercalelor", ce poate provoca moartea plantelor, deoarece rădăcinile și modul de înfrățire sînt scoase la suprafața solului și expuse uscăciunii.

Opărirea culturilor de toamnă are loc sub un strat gros de zăpadă care se poate menține timp de 3—4 luni. În urma unei respirații destul de intense, care are loc în cazul cînd zăpada a căzut pe un sol neînghețat, plantele ajung să fie slăbite în urma consumării tuturor rezervelor de glucide, și în acest caz sînt ușor atacate și distruse de ciuperca *Fusarium*.

Plantele mai pot pieri și prin asfixiere, în urma băltirii apei sau în urma secetei de iarnă. În toate aceste cazuri există mijloace de prevenire, a căror prelucrare se face în cadrul măsurilor agrofitotehnice.

5. Examinarea rezistenței plantelor la ger

Aprecierea rezistenței la ger se poate face cu ajutorul metodelor directe de cîmp și de laborator. Pentru aprecierea comparativă directă a soiurilor în cîmp se pot crea în mod artificial condiții cît mai nefavorabile pentru plante, cum ar fi, de exemplu, semănatul întîrziat pentru reținerea unei călîri normale sau îndepărtarea stratului de zăpadă deasupra plantelor etc. Ca metodă directă de laborator se folosește metoda „monoliților". Aceștia sînt blocuri de pămînt cu un anumit număr de plantule care se ridică periodic din cîmp și se supun la diferite tratamente de înghețare în cabine-frigider. Se compară numărul de plante viabile din monolitul supus tratamentului cu acela al unuia similar dar netratat. Datele se interpretează pe cît este posibil statistic.

Scanned with OKEN Scanner

Între metodele indirecte mult utilizate sînt următoarele:

a) *Aprecierea rezistenței după concentrația sucului celular.* Unii cercetători au stabilit o corelație pozitivă între concentrația sucului celular și rezistența la ger. Determinarea concentrației sucului celular se poate face cel mai comod prin metode optice sau prin determinarea presiunii osmotice cu ajutorul metodei crioscopice. Extragerea sucului celular prezintă însă neajunsuri, și nici corelația nu este pozitivă în toate cazurile.

b) *Aprecierea rezistenței după conținutul în glucide solubile.* O corelație satisfăcătoare între acumularea zaharurilor și rezistența la ger se constată la cerealele de toamnă. Acest fapt este subliniat în multe lucrări de către Levitt (1953), Vasiliev (1956), iar în literatura noastră de către Giosan și colaboratorii săi (1959). Determinarea glucidelor se face din frunze și colet, utilizîndu-se fie metoda Bertand, fie metoda Hagedonn-Jensen, sau metodele optice adecvate.

c) *Aprecierea rezistenței după capacitatea de reținere a apei de protoplasmă.* Se obișnuiește să se facă distincție între „apa liberă" și „apa legată". Prima determină activitatea proceselor fiziologice, iar a doua condiționează starea de hidratare a coloizilor hidrofili, de care depinde și rezistența la ger. Mulți cercetători susțin că cu cît raportul este mai favorabil pentru „apa legată", cu atît și rezistența la ger este mai mare (H. Chirilei, 1960).

d) *Aprecierea rezistenței după gradul de individualizare a protoplasmei.* O. Z. Oknina și T. N. Pustovoitova (1955) au dovedit, pentru plantele lemnoase, și H. Chirilei (1953, 1955, 1957) pentru cerealele de toamnă și pentru pomi, că individualizarea protoplasmei este un fenomen larg răspîndit. După numărul de celule cu protoplasma individualizată, după gradul de separare și durata fenomenului se poate aprecia rezistența la ger.

e) *Aprecierea rezistenței după viscozitatea protoplasmei.* Corelația între viscozitate și rezistența la ger este acceptată de către Sergheev, Dexter, Ghenkel și este negată de către White și de către Levitt. În literatura noastră, N. Sălăgeanu și G. Galan (1955) demonstrează existența unei astfel de corelații.

Există însă și alte metode pentru aprecierea indirectă a rezistenței la ger, cum ar fi, de exemplu, metoda conductibilității electrice sau a absorbției ionilor la temperaturi scăzute. Oportunitatea utilizării lor nu este însă suficient dovedită.

B. REZISTENȚA LA SECETĂ A PLANTELOR

1. Acțiunea secetei atmosferice și a secetei solului

Problema adaptării plantelor în regiuni secetoase prezintă un deosebit interes atît din punct de vedere teoretic, cît și practic, dată fiind întinderea deosebit de mare a regiunilor de pe glob care sînt supuse acțiunii secetei.

Scanned with OKEN Scanner

Plantele din regiunile cu diferite tipuri de secetă s-au adaptat condițiilor de viață prin mijloace dintre cele mai variate. Ca forme de secetă distingem seceta de sol și seceta atmosferică.

Seceta solului apare la noi frecvent la începutul verii și în timpul verii, ca o consecință a precipitațiilor insuficiente. În aceste condiții, bilanțul de apă al plantei devine progresiv deficitar. La început se manifestă sub forma unui „deficit restant" ce se accentuează de la o zi la alta în orele de amiază, iar după un anumit timp, planta nu mai este în măsură să-și refacă acest deficit nici noaptea. În unele împrejurări, rezerva de apă din sol accesibilă plantelor poate scădea pînă la apa care constituie așa-numita rezervă de „apă moartă". Aceste stări provoacă fenomenul de ofilire la plante care, la început, se manifestă temporar, și apoi de durată. Dacă perioada premergătoare secetei a fost moderat de ploioasă și seceta se accentuează progresiv, atunci plantele vor avea de suferit mai puțin. În caz contrar, efectul va fi mai păgubitor, plantele fiind mai puțin adaptate la secetă.

Seceta atmosferică este provocată de lipsa accentuată a apei din atmosferă, de uscăciunea prea mare a aerului. Ea apare atunci cînd pierderile de apă nu pot fi compensate prin absorbția radicelară. Și în acest caz apare fenomenul de ofilire.

Atît seceta solului, cît și seceta atmosferică au o acțiune nefavorabilă asupra vieții plantelor și pot să acționeze fie separat, fie prin suprapuneri în diferite combinații, ceea ce creează plantelor condiții de viață nefavorabile dintre cele mai variate. Repercusiunile negative ale secetei se resimt în primul rînd asupra creșterii. Întrucît la ofilire stomatele se închid și în timpul zilei, este firesc că procesele de transpirație și de fotosinteză sînt frînate la un bilanț de apă nesatisfăcător. Mai amintim că în timpul ofilirii încep să predomine procesele de hidroliză, care peste o anumită limită pot cauza moartea celulelor. Frunzele tinere, dispunînd de o forță mare de sugere, pot sustrage apa din alte organe, cum sînt organele de fructificare și perișorii radicelari. Acest fapt poate avea drept urmare căderea florilor, avortarea ovarelor, precum și uscarea perișorilor radicelari, ceea ce provoacă mari dificultăți în aprovizionarea cu apă a plantei. Cînd acționează vînturile uscate, organismele vegetale au de suportat neajunsuri însemnate cum sînt : uscarea parțială a frunzelor, căderea fructelor de curînd legate etc.

Efectul păgubitor al secetei este în funcție de intensitatea, durata și momentul în care apare, depinzînd de stadiile de dezvoltare și fazele de creștere. Efectele păgubitoare la cerealele păioase se pot urmări încă de la începutul perioadei de vegetație, printr-o încolțire defectuoasă și prin apariția unei frînări serioase în formarea rădăcinilor coronare. Împăierea în condiții de secetă este caracterizată prin formarea unui pai scurt, ceea ce se răsfrînge negativ asupra formării spicului, iar în momentul umplerii bobului provoacă fenomenul de pălire.

2. Evoluția concepțiilor despre rezistența la secetă

Reacția plantelor față de efectele secetei este exteriorizată prin rezistența lor la secetă. La început s-a crezut că noțiunea de rezistență la secetă are o contingență mare cu xeromorfismul. S-a considerat că întrucît

xerofitele sînt grupuri ecologice cu cea mai mare rezistență la secetă, criteriile folosite pentru ele ar putea servi drept criterii generale și pentru higrofite și mezofite.

La sfîrșitul secolului trecut, A. F. W. Schimper a încercat să explice rezistența la secetă a xerofitelor printr-o transpirație mai redusă. El aprecia că acest grup ecologic are un coeficient de transpirație mai redus decît higrofitele și mezofitele și că în consecință, consumă mai economic apa din sol, în felul acesta fiind bine adaptate să trăiască în regiuni secetoase. Această concepție a fost însușită aproape de către toți fiziologii și ecologii din ultimele decenii ale secolului trecut. Din această cauză, aprecierea rezistenței la secetă se făcea numai pe baza însușirilor anatomo-morfologice. Determinările privind transpirația cactușilor, făcute de către Schimper, precum și determinările privind presiunea osmotică, făcute de către Fitting (1911), păreau să asigure și ele o argumentație satisfăcătoare din acest punct de vedere. Măsurătorile lui Fitting privind presiunea osmotică arătau că aceste plante pot să absoarbă apa puternic reținută de solurile uscate și o cedează în același timp mai greu prin transpirație. Tot în sprijinul acestei păreri mai venea și structura xeromorfă a organelor aeriene ale acestui grup ecologic, care contribuie la îngrădirea transpirației. Schimper mai argumenta că toate xerofitele dispun de o suprafață foliară redusă. Această adaptare poate fi dusă pînă la extrem în cazul cactușilor și a saxaulului, unde rolul frunzelor este îndeplinit de tulpină în cazul întîi și de ramurile subțiri, lipsite de frunze, în cazul al doilea. De asemenea, xerofitele au frunze cu cuticulă groasă, acoperite uneori cu perișori care fac ca lumina incidentă să fie reflectată într-o măsură mai mare de pe lamina frunzei. Stomatele sînt mici, cu o dispoziție adîncită pînă la limita inferioară a celulelor epidermice, ceea ce frînează ieșirea vaporilor de apă prin ele.

Cercetările ulterioare ale lui A. V. Blagovescenski în legătură cu presiunea osmotică a xerofitelor ce cresc în Asia Centrală, ca și rezultatele obținute de Stocker pentru plantele din Sahara, precum și cercetările mai recente ale lui I. M. Vasiliev (1931), făcute pentru plantele din deșertul Karakum, au dovedit că, de fapt, xerofitele prezintă presiuni osmotice cu valori foarte variabile și că sînt deci un grup ecologic foarte heterogen, cu modalități multiple de luptă împotriva secetei. N. A. Maksimov și școala lui caută să promoveze, în cercetările privitoare la regimul de apă al plantelor ce cresc în locuri secetoase, laturi noi de cercetare legate de starea protoplasmei, întrucît s-a dovedit apoi că la același organism, cum ar fi, de exemplu, un copac, frunzele de la suprafața coroanei, care au o structură xeromorfă, transpiră cu mult mai mult decît cele din interiorul coroanei, care au o structură mezomorfă. Ținînd seama de aceste rectificări, s-a văzut că criteriul lui Schimper se poate atribui doar suculentelor. Pentru aceste considerente, problema rezistenței la secetă este una din cele mai puțin abordate sub aspectul ei anatomo-morfologic și se conturează din ce în ce mai mult punctul de vedere al studierii coloidal-chimice a protoplasmei și a caracterului schimbului metabolic în general.

Scanned with OKEN Scanner

Astăzi se înțelege prin rezistența plantelor la secetă atît capacitatea de a suporta supraîncălzirea, cît și capacitatea de a rezista la deshidratare. Pe baza cercetărilor efectuate s-a constatat că xerofitele în stare de deshidratare își reduc activitatea metabolică la minim, fără pericolul coagulării coloizilor, în felul acesta rezistînd pînă ce apar ploile din nou. Dimpotrivă, mezofitele nu au capacitatea să suporte o deshidratare prea puternică și de durată. Datorită lipsei unei asemenea capacități de adaptare, structurile lor protoplasmatice sînt dezorganizate pe baza proceselor de hidroliză. Substanțele complexe lipoproteice se descompun, sistemele coloidale se pot coagula și organele atinse progresiv de aceste procese se usucă parțial sau total. Desigur că aceste procese sînt și mai accentuate la grupul plantelor higrofite. Un caracter important al plantelor rezistente la secetă este și păstrarea direcției sintetice a activității fermenților chiar la ofiliri.

S-a mai constatat că rezistența la secetă nu este o însușire constantă, ci una ce se formează în procesul de dezvoltare individuală a plantei. Pentru acest motiv, P. A. Ghenkel (1960) definește rezistența la secetă în felul următor: „Rezistente la secetă pot fi numite plantele capabile să se adapteze la acțiunea secetei în procesul de ontogeneză, să realizeze în aceste condiții o creștere, dezvoltare și reproducere normală, datorită existenței unei serii de proprietăți apărute în procesul de evoluție sub influența condițiilor de viață".

Observațiile curente au dovedit că există, la plantele de cultură, perioade cînd lipsa apei se resimte într-o măsură mai accentuată decît în restul perioadei de vegetație. Aceste perioade au fost denumite „perioade critice". O serie de cercetători atrag atenția că rezistența la secetă marchează întotdeauna o depresiune în momentul formării organelor generative. Acesta nu este un fenomen întîmplător, deoarece tocmai în această perioadă au loc o serie de modificări a unor importante proprietăți coloidal-chimice ale protoplasmei. P. A. Ghenkel vede în scăderea elasticității protoplasmei în timpul înfloritului tocmai una dintre cauzele reducerii rezistenței la deshidratare în această perioadă critică.

Se pare că în perioadele critice au loc procese intense de reconstrucție internă a plantei, unde procesele de creștere se concentrează îndeosebi în zona de formare a organelor generative, pentru parcurgerea cărora planta are nevoie de un conținut în apă al cărui deficit se suportă ceva mai greu.

Aceste fapte întăresc părerea că rezistența la secetă nu este o însușire statică, ci una dinamică, care se dezvoltă de-a lungul ontogenezei, motiv pentru care ea trebuie studiată în procesul de dezvoltare a plantelor pe stadii și pe faze.

3. Reacțiile de apărare-adaptare a plantelor la secetă

Pe glob întîlnim o varietate mare de climate cu caracter arid și semiarid. Corespunzător acestora, au apărut o multitudine de forme biologice de xerofite legate de particularitățile mediului lor de existență. Dacă seceta provoacă totdeauna modificări adecvate în organism, care constituie

reacții comune pentru un singur grup sau mai multe grupuri, pot apărea, în schimb, pe fondul acestora și modalități de reacție de mare specificitate. Desigur că ultimele elemente contribuie la mărirea numărului grupurilor de clasificație. Clasificarea xerofitelor prezintă și ea dificultăți tocmai din cauza formelor de tranziție și a suprapunerilor existente dintre diferite grupuri.

P. A. Ghenkel distinge 5 grupuri mari de xerofite și anume: suculentele, euxerofitele, hemixerofitele, poichiloxerofitele, stipaxerofitele și efemerele.

Suculentele (fig. 142) suportă seceta solului datorită marilor rezerve de apă acumulate în țesuturile lor. La supraîncălzire rezistă pe baza unei viscozități ridicate a protoplasmei și a unei cantități mari de „apă legată".

Euxerofitele suportă deficite mari de apă și o supraîncălzire apreciabilă datorită marei lor viscozități și a elasticității protoplasmei.

Hemixerofitele nu se disting printr-o prea mare rezistență, dar fac față condițiilor de secetă datorită unei bogate aprovizionări cu apă, dispunînd de un sistem radicular intensiv, mai ales în sens vertical. Mai prezintă și alte particularități, cum ar fi existența unui țesut vascular bogat, care permite un transport mai mare de apă spre organele supuse unei deshidratări intense. Stocker (1930) a mai observat la acest grup de plante și o viteză mai mare la formarea de noi zone absorbante atunci cînd cade o ploaie, după o perioadă mai lungă de secetă.

Poichiloxerofitele suportă seceta sub formă uscată, formă sub care vegetația activă este întreruptă pînă la apariția ploii.

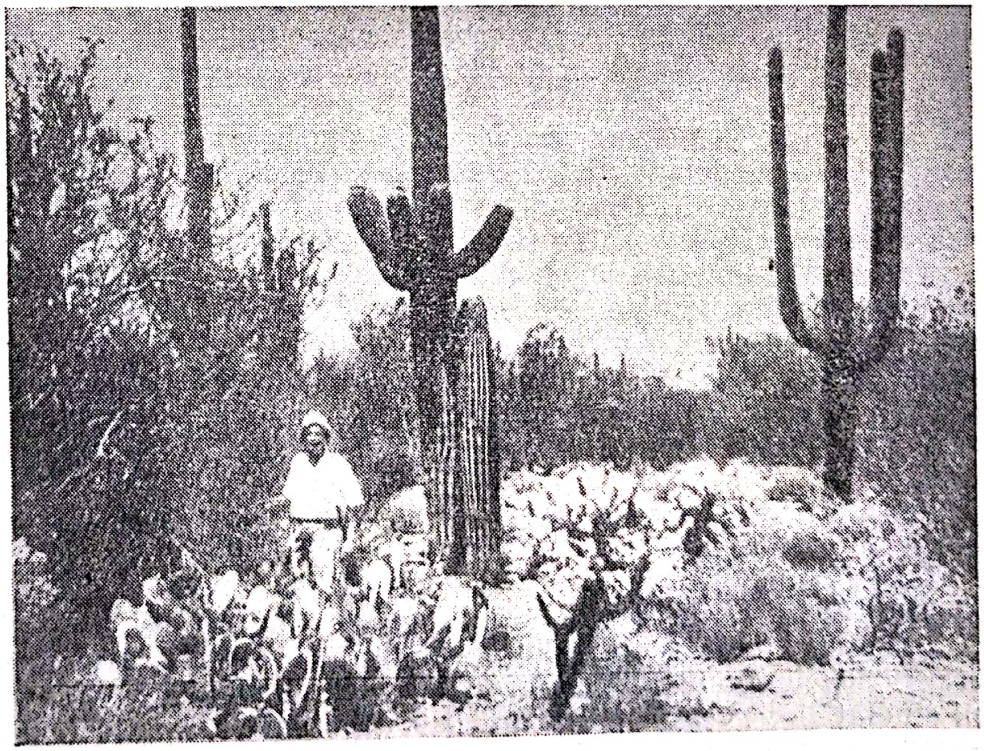


Fig. 142. Deșert din Arizona de Sud (după Stocker)

Scanned with OKEN Scanner

Stipaxerofitele suportă bine supraîncălzirea, dar sînt sensibile la deshidratare; se caracterizează printr-o capacitate mare de a utiliza apa precipitațiilor din averse.

Mai există și alte grupuri ecologice adaptate secetei, cum sînt efemerele și efemeroidele, care își încheie ciclul de vegetație înaintea apariției perioadelor de secetă. Ele nu sînt rezistente în sens activ, ci numai în sens pasiv.

Plantele de cultură nu intră în nici unul din grupurile ecologice menționate pînă acum. Ele sînt în general mai slab rezistente la secetă. Examinarea reacțiilor lor de apărare — adaptare față de secetă este pentru acest motiv de cea mai mare importanță practică.

Cercetările arată că reacția celulei în timp de secetă se produce mereu în același sens, cu modificări ale protoplasmei în direcțiile următoare: micșorarea dispersiei coloidale, creșterea permeabilității, creșterea viscozității, denaturarea proteinelor și coagularea protoplasmei. Pe măsura înmulțirii cercetărilor s-a constatat însă că există și alte modificări bazate pe multitudinea însușirilor protoplasmei și a metabolismului.

Să vedem acum ce se întîmplă în cazul cînd plantele suportă o deshidratare accentuată care provoacă ofiliri de diferite durate. In timpul deshidratării se modifică în primul rînd o serie de însușiri coloidal-chimice. Astfel se poate constata o creștere a fracțiunii de „apă legată", a elasticității și a viscozității protoplasmei. Modificările coloidal-chimice determină, la rîndul lor, reacții chimice de răspuns a proteinelor protoplasmei. Acestea depind în ultimă analiză de grosimea peliculelor de apă și a straturilor de ioni din jurul micelelor proteice, care permit o dirijare diferită a catalizei enzimatice. Astfel se ajunge la perturbarea capacității sintetice a plantelor, și în cazuri extreme poate urma chiar și o dezagregare a complexelor lipo-proteice.

I. M. Vasiliev, precum și N. N. Sisachian au dovedit că la frunzele de grîu cu un bilanț de apă deficitar se modifică atît metabolismul glucidic, cît și cel proteic în sensul accentuării direcției hidrolitice. Planta reacționează în asemenea cazuri prin intensificarea respirației pentru a-și menține capacitatea sintetică la un nivel mai înalt. După unii cercetători, micșorarea capacității sintetice se poate exterioriza mai pregnant la reținerea creșterii frunzelor, ca o consecință atît a lipsei de apă din sistemele coloidale, cît și a frînării procesului de întindere a celulelor. Așa se face că apar celule mărunte cu stomate mici ca unul din elementele componente caracteristice ale complexului sistemului citohistologic la plantele de cultură xeromorfe.

In cazul ofilirilor de scurtă durată, turgescența, precum și capacitatea de absorbție a substanțelor nutritive din sol revin mai ușor la valorile inițiale. In cazul ofilirilor de lungă durată, această revenire are loc mai greoi.

Toate modificările menționate constituie de fapt reacții de apărare-adaptare a plantelor față de condițiile mediului înconjurător, care s-au modificat în perioada de secetă în sensul nefavorabil vieții plantelor.

S-au studiat și efectele supraîncălzirii în legătură cu rezistența plantelor la secetă. In cazul acționării temperaturilor subletale se ajunge la o stare asemănătoare cu intoxicarea. Se pot observa diluări litice ale pro-

toplasmei. Sub acțiunea produșilor metabolismului apar modificări structurale ale complexului protoplasmatic, mărindu-se permeabilitatea lui, ceea ce permite o spălare mai pronunțată a electroliților și neelectroliților din complexul lipo-proteic. În timpul proceselor destructive mai sînt supuse degradării o serie de combinații ale unor substanțe fiziologic active din grupul biosului și al vitaminelor, ceea ce provoacă perturbări metabolice serioase. Se activează în același timp și o serie de enzime oxidante. Se produc în acest caz oxidări de nedorit ale unor combinații de importanță vitală, cum sînt: acidul ascorbic și glutationul. La supraîncălzire are loc și o dezagregare a proteinelor prin acumulare de amoniac care este, precum se știe, toxic pentru organism. V. F. Altergot (1960) susține că intensificarea respirației, în urma căreia se acumulează acizi organici, trebuie privită în acest caz ca o reacție de apărare față de temperaturile ridicate.

În rezistența plantelor la temperaturi ridicate prezintă interes deosebit studiul modificărilor viscozității și al apei legate. Cactușii, care sînt rezistenți din acest punct de vedere, putînd suporta temperaturi de +62 pînă la +65 °C, rezistă tocmai fiindcă prezintă o viscozitate mare și un conținut mare în „apă legată".

În ce privește stabilirea cauzei morții plantelor sub influența temperaturilor ridicate există două puncte de vedere. Unii o atribuie coagulării directe a proteinelor protoplasmei, iar alții o văd în modificările provocate în schimbul de substanțe. Desigur că aceste efecte apar în măsura în care se manifestă și fenomenul de secetă. La o creștere pronunțată a temperaturii poate începe coagularea, pe cînd la o creștere lentă pot apărea transformări mai mult sau mai puțin profunde în schimbul de substanțe, care pot provoca și ele moartea atunci cînd se depășesc anumite limite.

Trebuie să subliniem în mod deosebit că mecanismele fiziologice ale rezistenței plantelor la secetă reprezintă sisteme complexe alcătuite filogenetic, coordonate între ele, din verigi coloidal-chimice, anatomice și biofizice. Pe lîngă acestea, nu trebuie uitate nici particularitățile biologice ale plantei. Aici trebuie de luat în considerare particularitățile sistemului radicular, dar nu numai în ce privește ritmul de creștere ale acestuia, ci și în ce privește viteza formării de noi zone absorbante (Stocker, 1930). Mai trebuie de apreciat și capacitatea de absorbție a apei în condițiile unei slabe aprovizionări a solului, mai ales din cauza slabei mișcări a apei capilare în solurile prea uscate (T. J. Kramer, 1956). Mai contează și particularitățile sistemului circulator, reducerea și protecția părților care transpiră, precum și existența rezervelor de apă în diferite organe. Toate aceste proprietăți și însușiri de rezistență trebuie studiate dinamic, și nu static, pe etape de creștere și de dezvoltare.

4. Rezistența la secetă a plantelor de cultură

Și plantele de cultură au fost cercetate, din punct de vedere al rezistenței lor la secetă, după însușirile coloidal-chimice ale protoplasmei și ale schimbului de substanțe. Vom trece în revistă bazele fiziologice ale unor lucrări privind rezistența la secetă la cîteva plante de cultură.

Scanned with OKEN Scanner

N. S. Petinov şi G. M. Grineva (1960) se ocupă, într-un studiu, de dependenţa intensităţii respiraţiei de stare coloidal-chimică la porumbul cultivat în condiţii de neirigare şi irigare. Ei constată o intensitate mai ridicată a respiraţiei la plantele neirigate de-a lungul întregei perioade de vegetaţie. Surplusul de energie eliberată prin această intensificare a respiraţiei nu este folosit însă în scop productiv, ci pentru formarea unei cantităţi mai mari de acizi organici care trec sub formă de combinaţie inofensivă amoniacul ce se formează în timpul perioadei de secetă. La plantele irigate, apa condiţionează, dimpotrivă, o folosire productivă a energiei eliberate în procesul respiraţiei prin utilizarea ei în sinteze ce asigură o creştere viguroasă a plantelor.

Cercetătorii menţionaţi mai studiază şi variabilitatea viscozităţii la frunzele de porumb. Apreciind viscozitatea după durata de timp necesară pentru trecerea de la plasmoliza concavă la plasmoliza convexă, constată că există deosebiri mari din acest punct de vedere între porumb ce suportă acţiunea secetei şi porumbul irigat. Cînd viscozitatea este mare, timpul necesar pînă apare plasmoliza convexă este de 5—7 ore. Cînd viscozitatea este redusă, plasmoliza apare după 2—4 ore. Ei constată o viscozitate mare la plantele neirigate care suferă de secetă şi una mică la plantele irigate.

Tabelul 46

Influenţa secetei atmosferice asupra regimului de apă al florii-soarelui
(după K. A. Badanova)

Nr. crt.	Varianta experienţei	Conţinutul în apă, în %			Nr. de hidratare în grame-apă legată la 1 gram coloid
		totală	legată	liberă	
1	Martor	83,4	30,9	52,5	10,6
2	Temperatură ridicată	84,9	34,3	50,5	15,5
3	Vînt dogoritor+temperatură ridicată	84,6	41,3	43,3	89,6

Cercetări similare efectuate de către K. A. Badanova la floarea-soarelui duc la concluzii identice. Ea a cercetat, în afară de modificarea viscozităţii, şi variabilitatea conţinutului de coloizi hidrofili, precum şi a fracţiunilor de „apă legată" şi de „apă nelegată".

Tabelul 47

Influenţa secetei atmosferice asupra viscozităţii protoplasmei şi a rezistenţei la temperaturi ridicate a celulelor de floarea-soarelui
(după K. A. Badanova)

Varianta experienţei	Viscozitatea protoplasmei. Timpul trecerii plasmolizei concave în convexă, în minute	Rezistenţa plantelor la temperaturi ridicate. Temperatura de pieire a plantelor în °C
Martor	24	49
Temperatură ridicată	55	50
Vînt dogoritor+temperatură ridicată	38	51

Din tabelele 46, 47 și 48 rezultă că la temperaturi ridicate, precum și la vînt dogorîtor scade conținutul în „apă nelegată" și crește conținutul în „apă legată", se mărește viscozitatea, precum și conținutul în coloizi hidrofili.

Tabelul 48

Modificarea conținutului în coloizi hidrofili sub acțiunea secetei atmosferice asupra plantelor
(după K. A. Badanova)

Varianta experienței	Cantitatea de coloizi hidrofili, în % la substanța uscată
Martor	2,9
Temperatură ridicată	2,6
Vînt dogoritor+temperatură ridicată	4,3

Aceste date ne permit să explicăm în oarecare măsură cauza scăderii intensității schimbului de substanțe, precum și a micșorării recoltelor în condiții de secetă.

Pentru prevenirea riscurilor în obținerea de recolte bogate, o primă măsură constă în a se alege acele soiuri de plante a căror dinamică de creștere corespunde mai bine frecvenței precipitațiilor locului de cultură. Nesocotirea unei astfel de cerințe are repercusiuni dintre cele mai neplăcute asupra mărimii recoltelor.

Tabelul 49

Capacitatea țesuturilor bumbacului de a lega apa în diferite condiții de umectare
(după V. V. Grinenko)

Parcela	Umiditatea solului	Timpul luării probei	21. VIII		25. IX	
			Conținut total de apă, în %	Apa legată, în % din conținutul total	Conținutul total de apă, în %	Apa legată, în % din conținutul total
Irigată	80% din capacitatea totală de apă	Începutul perioadei dintre udări	75,98	11,25	—	—
		Sfîrșitul perioadei dintre udări	74,99	16,10	77,10	28,74
Irigată	60% din capacitatea totală de apă	Sfîrșitul perioadei dintre udări	74,75	17,93	75,80	27,82
Neirigată	—	—	69,28	26,54	59,14	33,42

Datele din tabelele 49 și 50 arată care este capacitatea de legare a apei în diferite condiții de umectare a solului la bumbac (care este mai puțin rezistent) și la vița de vie (care are o rezistență la secetă mai bine exprimată).

La bumbac, fracțiunea de „apă legată" este de cel mult 33%, la plantele neirigate. La plantele irigate, fracțiunea este și mai scăzută. Vița de vie poate lega pînă la 69% din rezerva totală de apă. Aceasta înseamnă că în cazul unui deficit de apă, cea mai mare parte a apei din frunze trece sub formă de „apă legată".

Tabelul 50

Modificările sezoniere ale stării apei în frunzele coardei de viță de vie, în % din rezerva totală
(după V. V. Grinenko)

Condițiile de creștere	Iunie	Iulie	Septembrie	Iunie	Iulie	Septembrie
	apă liberă			apă legată		
Parcelă irigată (600 m deasupra nivelului mării)	52,55	54,42	51,80	47,45	45,58	48,42
Pantele neirigate ale dealurilor (1 200 m deasupra nivelului mării)	78,33	53,61	31,18	21,67	46,38	68,9

G. N. Ermeev (1960), studiind ofilirea frunzelor la diferite esențe lemnoase din grupul xerofitelor și al mezofitelor, constată că există un paralelism de o valoare practică între rezistența mărită la ofilire și rezistența întregii plante la condiții secetoase. El stabilește o corelație pozitivă între rezistența la ofilire și capacitatea acestora de a-și reface turgescența. Dafinul, măslinul european, stejarul de piatră au prezentat o rezistență mare la ofilire, și în același timp o bună capacitate de a-și reface turgescența, pe cînd plopul piramidal și mărul, care prezintă o slabă rezistență la ofilire, manifestă și o capacitate slabă de a-și reface turgescența. Primele esențe fac parte din grupul xerofitelor, celelalte din grupul mezofitelor.

D. I. Kolpikov (1960) a efectuat cercetări, care suferă din punct de vedere al metodologiei, privitoare la rezistența la secetă și raporturile reciproce dintre plante în cadrul fitocenozelor. Autorul constată, în cadrul agrofitocenozelor și uneori chiar și în cazul fitocenozelor naturale din pajiști, că o serie de indici fiziologici (oscilațiile conținutului de apă, ale presiunii osmotice și ale viscozității) sînt mai mult sau mai puțin apropiați ca valoare. De aceea, el recomandă ca în agrofitocenoze să se folosească astfel de amestecuri care să prezinte căi de adaptare la secetă pe cît posibil asemănătoare, pentru a se putea crea combinații de plante de cultură de înaltă productivitate.

Deosebit de valoroase sînt pentru practică rezultatele cercetărilor privind perspectivele și posibilitățile de sporire a rezistenței la secetă a plantelor. Trebuie să amintim în special lucrările lui M. I. Skolnik și ale colaboratorilor săi. Cercetările din ultimul timp pun în evidență influența pozitivă pentru rezistența la secetă a microelementelor bor, mangan, aluminiu, cupru, zinc, cobalt, molibden. Se arată, într-o serie de lucrări, influența multilaterală a acestor elemente asupra stării coloidale și asupra proceselor biochimice și fiziologice care contribuie la asigurarea rezistenței

Scanned with OKEN Scanner

la secetă. În diferite cercetări se arată că sub influența microelementelor crește conținutul coloizilor proteici hidrofili, precum și gradul lor de hidratare, crește viscozitatea, precum și conținutul în „apă legată". Datele din tabelul 50 arată efectul pozitiv al aluminiului, molibdenului și cobaltului asupra capacității sistemelor coloidale de a lega apa. Se poate urmări că seceta provoacă o scădere a conținutului total în apă și a fracțiunii de „apă liberă", în schimb crește conținutul în „apă legată". Există și lucrări care analizează unele aspecte ale schimbului de substanțe la plantele ce suportă seceta. Se arată că sub influența microelementelor se poate observa un transport mai activ al monozaharidelor din frunze înspre spic.

Tabelul 51

Influența aluminiului, molibdenului și cobaltului asupra conținutului diferitelor forme de apă din frunzele de orz

(în % la substanță brută)

(după M. I. Skolnik, V. P. Bojenko și A. M. Maievskaia)

Varianta	Cantitatea de apă					
	totală	liberă	legată	totală	liberă	legată
	Alimentare normală cu apă					
	11. VI			15. VI		
Martor	82,6	81,4	1,2	87,4	82,0	5,4
Al	87,7	77,3	10,4	84,8	77,0	7,8
Co	86,8	81,4	5,4	89,6	77,7	10,9
	Începutul secetei în prima perioadă			A 5-a zi de secetă în prima perioadă		
	11. VI			15. VI		
Martor	86,4	84,9	1,5	83,7	78,0	5,7
Al	91,2	79,7	11,5	84,4	69,5	14,9
Co	86,3	81,9	4,4	82,8	75,6	7,2
	Alimentare normală cu apă					
	11. VII			5. VII		
Martor	83,5	77,0	6,5	82,7	66,4	16,3
Al	92,1	87,5	4,6	82,6	64,4	18,2
Mo	87,1	79,2	7,9	85,1	58,0	27,1
	Începutul secetei în a doua perioadă			Secetă în a doua perioadă		
	1. VII			5. VII		
Martor	75,2	56,2	19,0	74,3	50,0	24,3
Al	76,2	62,3	13,9	77,1	33 7	43,4
Mo	77,5	57,6	19,9	78,5	42,2	36,3
Co	75,6	61,5	14,1	76,6	45,6	31,0

De asemenea, s-a făcut dovada că sub influența secetei are loc, de obicei, o hidroliză a substanțelor proteice, și astfel apar în frunze o serie de aminoacizi, cum sînt: acidul glutamic, serina, alanina, dar mai ales prolina. Creșterea acestor aminoacizi, și în special a prolinei trebuie

Scanned with OKEN Scanner

privită ca un proces de mare importanță în adaptarea la secetă, întrucît ei sînt combinații ce se disting printr-o mare capacitate de hidratare.

V. N. Jolkievici (1954) arată că microelementele favorizează formarea compușilor fosforilați, ceea ce este de mare importanță, întrucît în secetă, acest proces este de obicei frînat. S-a putut arăta, de asemenea, de către unii autori că atît zincul, cît și borul pot favoriza formarea acizilor organici care fixează amoniacul produs în timpul în care acționează temperaturile ridicate și îl trec sub formă de combinație inofensivă.

Numai aceste date sînt suficiente să dovedească că există posibilități reale pentru a se prelucra căi variate de sporire a rezistenței la secetă a plantelor. Aceasta se poate realiza fie prin introducerea de microelemente în sol, sau direct în organismul vegetal pe calea nutriției extraradiculare, mai ales în perioadele critice, fie chiar printr-un tratament de călire a semințelor înainte de însămînțare.

P. A. Ghenkel a obținut plante mai adaptate la condițiile de secetă, supunînd materialul semincer de cartofi, floarea-soarelui și de cereale deabia încolțite la umectări și uscări repetate. Cu plantele obținute din acest material s-au obținut producții mulțumitoare, întrucît printre altele, prin călire se poate imprima o predominanță mai bună a proceselor sintetice față de cele hidrolitice. Celulele plantelor călite prezintă și o hidratare mai mare a coloizilor, și valori mai ridicate în ce privește viscozitatea și conținutul în „apă legată".

Cercetări noi arată că tratînd semințele cu clorură de calciu sau cu soluții de bor, se poate asigura o rezistență mai bună a plantelor la supraîncălzire.

5. Metode pentru aprecierea rezistenței plantelor la secetă

Pentru aprecierea laturilor biologice și fiziologice ale rezistenței la secetă a diferitelor soiuri este necesar să se aplice metode directe de studiu în cîmp sau în vase de vegetație, în condiții de secetă. Se studiază în aceste cazuri recolta obținută, viteza de ofilire și, dacă este cazul, viteza cu care mor plantele. Aceste experiențe pot fi completate cu încercări suplimentare făcute în instalații unde se pot crea condiții de climă artificială unde să acționeze, pe lîngă temperaturi ridicate, vînturi dogoritoare sau o uscăciune excesivă. Aprecierea recoltei după aceste criterii ne permite să ne facem o idee de ansamblu asupra rezistenței diferitelor soiuri.

Elaborarea metodelor de examinare a rezistenței la secetă s-a făcut pe baza a două însușiri importante pe care le manifestă plantele rezistente în condiții de secetă. Una dintre aceste însușiri se referă la menținerea direcției sintetice în activitatea enzimatică din perioadele de secetă. Pentru aprecierea ei s-au prelucrat unele metode redate mai jos.

a) *Determinarea sporului de substanță uscată.* Se determină dinamica acumulării substanței uscate la cîte 100 de plante, la intervale de timp precise. Cunoscîndu-se mersul acestei acumulări în condiții de precipitații suficiente, se poate stabili, pe baza acestor determinări, abaterile de la nor-

mai ce rezultă în perioadele de secetă. Dacă soiul încercat manifestă o capacitate sintetică destul de accentuată și în condiții de secetă, aceste abateri vor fi în general mai mici.

b) *Determinarea acumulării amidonului în frunzele ofilite.* Se iau plantele de cîmp și se țin în laborator pînă se ofilesc. Se determină acumularea amidonului în aceste frunze după metoda reacției iodului în iodură de potasiu. După intensitatea culorii albastre a frunzelor se poate aprecia gradul de rezistență la secetă.

S-au mai elaborat metode și pe baza rezistenței plantelor la deshidratare. Între acestea enumerăm următoarele :

c) *Metoda ofilirii.* I. I. Tumanov crește plante în vase de vegetație, dintre care unele sînt menținute pînă la recoltă, la o anumită umiditate a solului, care este favorabilă creșterii plantelor. În altă serie de vase, plantele sînt aduse în stare de ofilire în anumite perioade stabilite din timp. Cînd plantele suferă în mod vizibil de ofilire, se restabilește hidratura vaselor, pentru a se favoriza revenirea plantelor la starea de creștere normală. Operația aceasta se repetă de mai multe ori de-a lungul perioadei de vegetație. După diferența de producție din cele două serii de vase de vegetație se poate aprecia rezistența la secetă.

d) *Determinarea rezistenței la deshidratare.* P. A. Ghenkel ține frunzele din diferite soiuri și din diferite faze de creștere în exicatoare, unde se introduc fiole cu acid sulfuric concentrat, pentru a se provoca o deshidratare. Determină apoi prin metoda plasmolitică procentul de celule rămase vii. Cu cît numărul acestora este mai mare, cu atît și soiul poate fi considerat ca fiind mai rezistent la deshidratare.

Aprecierea rezistenței la secetă se mai poate face și prin metode indirecte de laborator. În acest scop se poate utiliza metoda Mațkievici pentru determinarea pragului de coagulare a proteinelor. Cu cît este mai ridicat acest prag, cu atît sînt mai rezistente și plantele. „Apa legată" se poate determina fie prin metoda Leremeev, fie prin metoda Nicioporovici, precum și prin metoda aprecierii elasticității protoplasmei. Conținutul mare în „apă legată" sau viscozitatea mare sînt indicii indirecți pentru o bună rezistență la secetă.

Esențial pentru aprecierea rezistenței la secetă pe calea metodelor indirecte este ca ele să se facă numai în condițiile de creștere a plantelor pe fond secetos, ținîndu-se cont de etapa de dezvoltare și faza de creștere.

C. BAZELE FIZIOLOGICE ALE IRIGAȚIEI

1. Caracteristicile generale ale proceselor fiziologice la plantele irigate

O primă remarcă ce trebuie să o facem este că conținutul în apă din plantele irigate este mai ridicat decît în plantele neirigate.

În plantele irigate există posibilitatea unei desfășurări mai intense a proceselor biochimice și a proceselor fiziologice. Stomatele sînt larg

deschise un număr de ore mai mare din timpul zilei, fapt ce permite o asimilație clorofiliană de o durată mai lungă. Dinamică circulației asimilatelor este mai bună. În protoplasmă se produc activ sintezele de proteină necesare pentru formarea de noi celule și țesuturi. Irigația mărește durata fazelor de creștere, și deci a întregii perioade de vegetație. Sînt deci create premisele unei recolte mari.

La plantele neirigate, cu insuficiență de umiditate în sol, se pot constata alte fenomene. Trebuie să semnalăm în primul rînd o limitare a diviziunii celulelor din zonele de creștere embrionare. Creșterea de alungire se realizează într-o perioadă de timp mai redusă. Se mai constată și un ritm mai rapid în ce privește diferențierea celulelor. Dimensiunea celulelor și a organelor rămîne mai mică. Parcurgerea într-un ritm grăbit a tuturor etapelor de creștere duce, în ansamblu, la scurtarea perioadei de vegetație. În aceste condiții este clar că recolta nu poate fi decît mediocră.

Tabelul 52

Transpirația plantelor neirigate și irigate (Irigare prin aspersiune la orele 13—14)
(după T a g h e e v a)

Data determinărilor	Ora	Transpirația pe oră, în g				Timpul
		Melanopus 069		Erythrospermum 341		
		fără stropire	stropire prin aspersiune	fără stropire	stropire prin aspersiune	
24 iunie	6—10	125	130,5	130	140,7	soare
	10—13	134	130,5	163	149,5	soare
	13—20	37,8	43,8	49,6	45,7	schimbător
25 iunie	8—10	125	141,5	137	140,5	înnourat
	10—12	148	155	210	412	soare
	12—14	155	—	222	—	soare
	14—16	169	171	222	—	soare
	16— 6	24,8	25,2	23,0	25,5	schimbător
26 iunie	6 8	66,5	72	70	90	soare
	8—12	100	97,2	127	126	soare
	12—14	110	118	115	105,5	soare
27 iunie	14— 8	26,8	28	25,7	34	înnourat soare

Intensitatea transpirației la plantele irigate depinde de mai mulți factori, cum sînt: rezerva de apă din sol, temperatura aerului, starea internă a plantei etc. T a g h e e v a arată că la plantele irigate, transpirația este cu foarte puțin mai mare la unitatea de suprafață decît la plantele neirigate. Aceasta reiese și din datele cuprinse în tabelul 52. Chiar dacă consumul de apă pe unitatea de suprafață este mai mic, totuși consumul total de apă pe plantă este mai mare, deoarece suprafața de transpirație este de 3—5 ori mai mare decît la plantele neirigate. Este interesant de știut faptul că plantele rațional îngrășate cu azot, fosfor și potasiu și irigate folosesc mai economic apa decît cele neirigate, care sînt unilateral îngrășate.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 53

Asimilația la 1 m² de frunză la grîul de primăvară în g/oră (după Novikov)

Variantele și datele observațiilor	Ore						
	5—7	7—9	9—11	11—13	13—15	15—17	17—19
				17 iunie			
Fără irigare	3,88	1,94	0,94	2,37	1,64	0,59	—
Irigare prin aspersiune	5,42	6,04	0,51	5,47	4,44	3,33	—
				20 iulie			
Fără irigare	—	2,81	0,47	3,81	1,81	1,26	—
Irigare prin aspersiune	—	1,88	1,47	1,39	0,92	0,64	—
				30 iulie			
Irigare prin aspersiune	5,66	4,68	1,16	2,23	3,03	3,33	1,46

O dată cu scăderea conținutului în apă din plante scade și intensitatea fotosintezei. La o bună aprovizionare cu apă a plantelor, asimilația clorofiliană este întotdeauna mai intensă. Datele din tabelul 53 sînt destul de concludente din acest punct de vedere. Totuși, la udări intermitente, după ce a scăzut umiditatea din sol sub o anumită limită, asimilația plantelor stropite poate scădea chiar mai mult decît la cele nestropite. Este cazul valorilor înregistrate la data de 20 iulie.

Fotosinteza este condiționată direct de gradul de deschidere a stomatelor. In tabelul 54 se prezintă gradul de deschidere a stomatelor la floarea-soarelui. Variațiile în gradul de deschidere a stomatelor în decursul unei zile

Tabelul 54

Gradul de deschidere al unei stomate la floarea-soarelui, în microni (media din 300 de măsurători)

Varianta	Orele și zilele observațiilor							
	5	9	13	17	5	9	13	17
	22 iulie				*29 iulie*			
Fără stropire	1,20	1,89	1,25	0,67	0,67	1,0	0,25	0,5
Stropire la 21. VI	1,65	1,92	1,38	1,56	0,34	1,0	0,42	0,65
Stropire la 17. VII	1,92	2,43	2,52	1,75	1,18	1,67	1,33	0,94
Stropire la 21. VI și 17. VII.	1,93	2,85	1,62	1,89	1,56	2,07	1,45	1,12
					8 august			
Fără stropire					0,52	1,15	1,12	0,62
Stropire la 21. VI					0,92	1,21	1,05	0,71
Stropire la 17. VII					1,02	1,44	1,31	1,37
Stropire la 21. VI și 17. VII					1,25	1,85	1,33	1,37

Scanned with OKEN Scanner

depind de conținutul în apă din plante, fiind în legătură cu rezervele de apă din sol. După datele tabelului 54 rezultă că stomatele au fost mai larg deschise în condițiile aplicării a două stropiri. La data de 8. VIII, variantele au prezentat valori mai puțin diferențiate decît la datele anterioare.

Tabelul 55

Corelația dintre asimilație și respirație (media pe o zi)
(după A. S. Kruțilin)

Datele luării probelor și schemelor	Corelația			Deschiderea mijlocie la 100 de stomate	Condițiile medii climaterice	
	asimilația, în mg	respirația, în mg	consum procent. al resp. din asimilate		temperatura	umiditatea relativă
La 31 mai						
Fără stropire	14,43	1,97	18,7	55	20,9	38
Stropire la 24 mai	19,55	2,0	10,2	187	—	—
La 6 iunie						
Fără stropire	9,13	2,0	12,9	151	21,6	46,9
Stropire la 24 mai	18,05	2,75	15,3	205	—	—
La 12 iunie						
Fără stropire	10,45	2,57	24,5	—	—	—
Stropire la 24 mai	9,83	2,37	24,2	—	—	—
La 17 iunie						
Fără stropire	11,45	2,10	18,3	—	21	51,7
Stropire la 24 mai	6,63	1,42	21,4	—	—	—

Pentru a ne putea face o părere despre adevăratul ritm de acumulare al substanței uscate, trebuie să prevedem în calcul cantitatea de asimilate ce sînt folosite în respirație. Prezentăm un tabel cu astfel de date la grîul de primăvară (tabelul 55). Din datele tabelului se poate urmări că în respirație se consumă pînă la 24,5% din asimilate. La plantele irigate, consumul poate fi mai redus uneori decît la cele neirigate. Totuși, la plantele irigate, formarea asimilatelor este în general mai mare, așa că este posibil ca ele să realizeze un bilanț activ în cursul zilei, ceea ce asigură o creștere mai mare și o recoltă mai bună.

În general, se poate afirma că nivelul și intensitatea proceselor fiziologice care contribuie în mod activ la acumularea de substanță organică cresc la plantele irigate. Astfel, cresc absorbția elementelor de nutriție minerală și a apei, intensitatea fotosintezei, se observă un ritm fără intermitență al proceselor de creștere, avînd loc și o prelungire a perioadei de vegetație.

Modificările pe care le poate provoca irigația se răsfrîng și asupra ritmului proceselor de dezvoltare, și asupra fazelor de creștere.

Grîul de primăvară, semănat primăvara de vreme, cînd poate întîlni condiții de „zi scurtă" și temperaturi scăzute, trece relativ încet prin stadiul de lumină. La o bună aprovizionare cu apă și o nutriție minerală îmbel-

Scanned with OKEN Scanner

Scanned with OKEN Scanner

sugată, în urma unei fotosinteze intense, crește viguros. Mari cantități de asimilate pot fi utilizate la formarea de frați, a unui foliaj bogat și a unui mare număr de rădăcini coronare. Dacă și frații pot parcurge cel de-al doilea stadiu de dezvoltare, ei ajung să fie purtători de spic ca și tulpina principală. Dacă se intervine printr-o irigare întîrziată, se formează eventual noi frați și rădăcini coronare, dar frații nu pot parcurge stadiile de dezvoltare din cauza temperaturii ridicate și nu pot deveni purtători de spic. Rezultatul final este o recoltă mai slabă.

Pe fondul potențelor biologice ale proceselor stadiale, apar potențe morfologice, cum sînt: formarea de frunze, rădăcini, tulpini, spice. Cu cît se va forma un număr mai mare de astfel de organe și cu cît vor fi mai mari, cu atît și recolta va fi mai mare. O dată cu acestea se valorifică și potențe de natură fiziologică, cum sînt: intensitatea fotosintezei, forța de sugere a rădăcinilor, precum și ritmul de deplasare și de transformare a substanțelor în diferite organe. De acestea depind cantitatea și calitatea substanțelor ce se acumulează în sămînță, fruct, căpățînă, rădăcină, tulpină etc.

La grîul de toamnă, pentru o bună fructificare a tuturor florilor din spiculeț (3—5 flori), este de preferat ca la o creștere viguroasă și o dezvoltare de un ritm ușor încetinit să se permită formarea unui aparat foliar bogat de 12—14 frunze în loc de 7—8 frunze. În momentul fecundării și mai ales în momentul umplerii boabelor, numai astfel se poate asigura un curent îmbelșugat de asimilate care se va deplasa din frunze înspre bob. În aceste condiții putem obține spice cu rahis lung, cu număr mare de spiculețe și cu 3—4 boabe în spiculeț în loc de 2 boabe cîte se formează în mod obișnuit.

Iată o rezervă importantă în structurarea recoltelor mari, unde irigarea și îngrășămintele pot realiza potențe care, în cultura neirigată, nu se valorifică niciodată.

Trebuie să mai amintim că prin norme de irigare repetat aplicate și prin mărimea normei se poate dirija și creșterea rădăcinii. Normele mici și repetate favorizează creșterea rădăcinilor în orizonturile superficiale ale solului, unde există de obicei și o mai bună aprovizionare cu elemente nutritive. Dimpotrivă, normele mari de irigare favorizează o creștere a rădăcinii în straturile mai profunde ale solului.

După A. S. Krujilin, și calitatea recoltei poate fi dirijată prin intermediul irigației și al nutriției minerale. Astfel la grîul irigat putem remedia neajunsul unui conținut mai redus în proteine al acestuia prin introducerea în sol a îngrășămintelor cu azot, sub o formă ușor solubilă, cu puțin timp înaintea umplerii bobului.

2. Folosirea indicilor fiziologici la stabilirea necesității de apă pentru plantă

Se știe că între rezerva de apă accesibilă din sol și conținutul în apă din plante există o strînsă interdependență. Pe măsura uscării solului, o serie de indici fiziologici marchează la început dificultățile aprovizionării cu apă a plantelor și pe urmă exteriorizează deficitul din bilanțul de apă. Acești indici se referă la presiunea osmotică, forța de sugere, gradul de

deschidere a stomatelor, intensitatea fotosintezei, creştere etc. Dacă determinăm, la diferite intervale de timp, aceşti indici, se poate stabili momentul cînd trebuie să aplicăm irigarea. Cu cît rezervele de apă din sol sînt mai apropiate de coeficientul de ofilire, cu atît şi indicii amintiţi marchează valori care avertizează începutul unei insuficienţe acute de apă.

Dacă osteolele stomatelor încep să-şi micşoreze apertura în orele de dimineaţă, cînd nu avem încă condiţii de insolaţie, este un semn sigur că bilanţul de apă din plantă este pe cale de a deveni deficitar. Aceeaşi diagnosticare precisă se poate face şi pe baza valorilor forţei de sugere, cînd ea creşte, peste valorile obişnuite, cu 1—3 atmosfere.

Diagnosticarea cu ajutorul acestor indici fiziologici se face în momentul cînd planta nu suferă prea mult de pe urma deficitului de apă, iar nivelul proceselor fiziologice care contribuie la o creştere activă nu a scăzut decît într-o foarte mică măsură, datorită acestui deficit. Intervenind prin irigare în aceste momente, putem preveni din timp intermitenţele în creşterea plantelor.

D. REZISTENŢA PLANTELOR LA SĂRURI

1. Efectul negativ al sărurilor asupra plantelor

Sărăturarea solurilor aduce mari prejudicii agriculturii. Dintre plantele de cultură, un grad de rezistenţă ceva mai mare prezintă obsiga nearistată, firuţa, sfecla de zahăr, lucerna, bumbacul, sorgul, varza de nutreţ, pepenii verzi şi roşiile. Porumbul, inul, ovăzul, hrişca, pomii fructiferi şi unele dintre legume sînt sensibile la săruri.

Limitele rezistenţei plantelor la săruri sînt determinate de un complex de factori, cum sînt: condiţiile climatice, însuşirile fizico-chimice ale solului, particularităţile fiziologice ale plantelor, precum şi măsurile agrotehnice care se aplică.

Studiul capacităţii de adaptare a plantelor la diferite grade de sărăturare este de cea mai mare importanţă. De aceea este necesar să se cerceteze temeinic mecanismul acţiunii nefavorabile a sărurilor, spre a se putea elabora căile şi mijloacele pentru sporirea rezistenţei plantelor în aceste condiţii de mediu nefavorabile.

Prima teză în legătură cu reţinerea creşterii plantelor pe sărături a fost formulată sub forma părerii susţinută de către Schimper că acţiunea sărurilor se reduce la crearea „uscăciunii fiziologice". Cum marea majoritate a plantelor realizează presiuni osmotice de cel mult 15—20 de atmosfere, iar soluţiile din solurile sărăturate pot atinge presiuni osmotice în jur de 30—50 de atmosfere, este clar că plantele nu pot absorbi apa din sol în aceste condiţii. Această părere s-a menţinut mult timp, deşi Neger (1913), iar apoi A. A. Richter şi alţii au atras atenţia că cercetările trebuie îndreptate şi în direcţia studierii acţiunii toxice a ionilor. Numai după ce s-a dovedit că soluţiile izoosmotice de manită opreau doar creşterea, pe cînd cele cu săruri provocau şi distrugerea organismului, s-a trecut şi la studierea influenţei ionilor de Na^+, Ca^{++}, Mg^{++}, Cl^-, SO_4^{--} etc.,

Scanned with OKEN Scanner

asupra proprietăților protoplasmei și asupra procesului schimbului de substanțe.

De la început s-a constatat însă că se întîmpină dificultăți mari în acest studiu, întrucît stînjenirea unui proces fiziologic poate fi condiționată fie direct, datorită toxicității ionului absorbit în prea mare măsură, fie indirect, datorită perturbării schimbului de ioni din plante. Cercetările acestea s-au concentrat în două direcții. Prima direcție de cercetare s-a îndreptat asupra absorbției ionilor și asimilării lor, și a doua asupra mecanismului toxicității lor.

Părerile asupra pătrunderii și deplasării sărurilor prin plantă suferă încă de o generalizare prea vagă. Astfel, E. I. Ratner găsește că pe sărături, celulele rădăcinilor ajung în scurt timp la o saturare în elemente minerale. În aceste condiții, sistemul radicular își pierde capacitatea regulatoare pentru absorbția ionilor, și aceștia pătrund în mod pasiv în celulă prin curentul de sevă brută și se acumulează din abundență în organele plantei. W. G. Arisz și colaboratorii săi constată că sărurile se pot fixa în mitocondrii și în alte structuri protoplasmatice, precum și pe diferite macromolecule din celulele tinere. În celulele îmbătrînite, ele se pot acumula în cantități mari în vacuolă.

În ultimul timp se caută ca abordarea problemei să se facă tot mai mult în direcția studierii metabolismului modificat pentru plantele cultivate pe sărături. Cercetările arată că în plantele otrăvite cu săruri are loc o acumulare de apă oxigenată.

Interesante sînt studiile efectuate la două plante glicofite, bobul și tomatele cultivate în condiții de sărăturare. S-au determinat în frunzele de bob și în frunzele de tomate otrăvite cu clorură de sodiu o serie de aminoacizi, cum sînt: acidul aspartic, acidul glutamic, prolina, arginina, lizina, care se acumulează prin utilizarea incompletă a acestora în sintezele de proteine ca o consecință a perturbării proceselor de creștere. Or, se știe că atît acidul glutamic, cît și arginina pot suferi transformări corespunzătoare, ce duc la apariția putresceinei. Transformarea ulterioară a putresceinei poate merge atît pe calea dezaminării prin formare de amoniac și de prolină, cît și pe calea dezaminării oxidative, cînd se formează amoniac și apă oxigenată. La halofitele facultative, cum este sfecla de zahăr, sărăturarea nu atrage după sine perturbări așa de mari în schimbul azotos. Nu este exclus ca moartea plantelor să fie provocată nu numai prin acumularea substanțelor toxice amintite, ci și pe baza altor substanțe toxice ale metabolismului modificat.

Capacitatea selectivă de absorbție a halofitelor față de anioni este așa de mare, încît în viitor este necesar să se studieze adaptarea plantelor separat pe diferite tipuri de sărăturare determinate de cloruri, sulfați, carbonați etc.

2. Căile și mecanismul adaptării plantelor la sărături

Și în cadrul halofitelor există mai multe tipuri, avînd fiecare un mecanism propriu de apărare-adaptare. *Salicornia*, de exemplu, poate absorbi cantități relativ mari de clorură de sodiu, dar își poate concentra sucul

celular într-o astfel de măsură, încît să-şi poată asigura satisfăcător apa de care are nevoie. Speciile *Statice* şi *Tamarix* absorb mari cantităţi de săruri, dar le şi elimină prin frunză. Din această cauză, frunzele lor sînt adesea acoperite de un strat uscat de săruri, care este îndepărtat fie prin vînt, fie prin ploaie. Alte tipuri de halofite se apără fie prin impermeabilitate relativă, fie prin localizarea sărurilor sub formă de formaţiuni structurale speciale.

Grupul plantelor de cultură nu include halofite adevărate; totuşi întîlnim şi la ele o capacitate de adaptare ce se manifestă într-un mod diferenţiat. Ele suferă modificări anatomo-morfologice şi fiziologice corespunzătoare cu condiţiile de creştere şi cu particularităţile lor biologice. Ar fi o greşeală să se admită pentru ele analogii împrumutate de la plantele halofite. De aceea, este absolut necesar să se studieze fiziologia toxicităţii cu săruri a acestor plante şi să se dezvăluie mecanismul lor de adaptare.

Rezistenţa plantelor de cultură la săruri nu este o însuşire statică, ci o reacţie de ansamblu a organismului, ce se modifică în ontogeneză pe măsură ce plantele cresc şi se dezvoltă. Se ştie că plantele tinere şi în faza de înflorire sînt mai sensibile la săruri. Se mai ştie, de asemenea, că o creştere treptată a concentraţiei sărurilor în sol creează condiţii mai bune pentru o mai bună adaptare a plantelor.

Tabelul 56

Conţinutul în apă totală, liberă şi legată în frunzele de orz din soiul Kubaneţ (în % din greutatea brută a frunzelor)

(după G. R. Matuhin)

Varianta	Răsărirea plantelor			Înfrăţit			Impăiere		
	conţinutul în apă								
	totală	liberă	legată	totală	liberă	legată	totală	liberă	legată
Martor (fără sărăturare)	85,95	64,35	21,60	82,93	60,52	22,41	74,58	50,25	24,33
Fond sărăturat									
Plante în primul an de educare	84,47	68,22	16,25	78,36	59,64	18,72	70,42	49,94	20,48
Plante în al doilea an de educare	83,70	50,80	32,90	80,39	46,35	34,04	72,27	33,96	38,31
Plante în al patrulea an de educare	84,64	49,54	35,10	82,37	40,08	42,29	73,69	27,07	46,62

În procesul adaptării plantelor la concentraţiile mari de săruri din sol s-a constatat că o serie de ioni, cum sînt cei de sodiu, potasiu şi clor, accentuează dispersia şi gradul de hidratare a protoplasmei. Urmare a acestui fapt este că o serie de proprietăţi, cum sînt: hidratarea coloizilor, viscozitatea, elasticitatea, capacitatea absorbantă, precum şi pragul termic de coagulare a proteinelor plasmatice suferă modificări substanţiale. După datele tabelului 56 se poate observa că la orez, unul din factorii de natură coloidală ce determină rezistenţa la sărăturare constă în micşorarea fracţiunii de „apă liberă" şi creşterea fracţiunii de „apă legată".

Scanned with OKEN Scanner

Și viscozitatea crește pe măsură ce plantele au fost cultivate timp mai îndelungat, fapt ce se poate urmări în tabelul 57. K a h o a dovedit că sărurile neutre ce hidratează coloizii ridică pragul termic de coagulare al proteinelor plasmatice. Un rol pozitiv deosebit în acest fenomen trebuie atribuit și prezenței zaharurilor.

Tabelul 57

Viscozitatea protoplasmei în frunzele de orz din soiul Pallidum 43 (în faza de împăiere)
(după G. R. M a t u h i n)

Varianta experienței	Timpul de trecere al plasmolizei concave în convexă (în minute)
Martor (fără sărăturare)	30
Fond sărăturat:	
planta în primul an de educare	30—35
planta în al treilea an de educare	40—45
planta în al șaselea an de educare	50—55

G. R. M a t u h i n (1960) dovedește că plantele educate pe sol sărăturat timp de mai mulți ani se caracterizează printr-o fotosinteză mai activă (ceea ce permite formarea unor cantități mai mari de zaharuri), precum și printr-o respirație mai redusă, față de cele neadaptate. Din tabelul 58 se constată că în al șaselea an de cultivare consecutivă în condiții de sărăturare există un raport fotosinteză-respirație pozitiv mai mare decît la plantele martor.

G. R. M a t u h i n și alții văd atît în modificările coloidale, cît și în statornicirea procesului metabolic halorezistent o reacție de natură ecologico-fiziologică pentru accentuarea rezistenței plantei în condiții de sărăturare a solului.

Tabelul 58

Mersul schimbului de gaze în cursul zilei la frunzele de orez (în mg CO_2 la un dm^2 în timp de o oră)
(după G. R. M a t u h i n)

Varianta experienței	De la ora 8 pînă la 8,30			De la ora 13 pînă la 13,30			De la ora 17 pînă la 17,30		
	Absorbție (1)	Eliminare (2)	Raport 1:2	Absorbție (1)	Eliminare (2)	Raport 1:2	Absorbție (1)	Eliminare (2)	Raport 1:2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Martor	18,0	3,7	4,8:1	11,8	6,8	1,7:1	13,7	3,7	$3,7:A_1$
Fond sărăturat:									
Planta în primul an de educare	20,0	5,5	3,6:1	13,3	12,2	1,8:1	12,2	9,2	1,3:1
Planta în al treilea an de educare	20,8	5,2	4,0:1	14,7	7,8	1,8:1	13,0	5,2	2,5:1
Planta în al șaselea an de educare	22,7	4,1	5,5:1	17,2	6,8	2,5:1	14,4	4,8	3,0:1

3. Posibilitățile și perspectivele sporirii rezistenței plantelor la sărăturarea solurilor

Ridicarea rezistenței plantelor la sărături fie prin călire, fie prin folosirea microelementelor prezintă o deosebită importanță pentru practica agricolă.

Cercetările arată că la tratarea consecutivă de trei ori a semințelor de bumbac, înainte de însămînțare, cu concentrații crescînde de săruri, se poate realiza o sporire a producției plantelor pe solurile sărăturate.

În ultimul timp s-au înregistrat succese în problema sporirii rezistenței plantelor la săruri cu ajutorul microelementelor. În 1949 M. I. Skolnik și colaboratorii săi au dovedit, la lucernă, că borul, manganul și mai ales aluminiul, introduse sub formă de îngrășăminte în sol, pot spori rezistența plantelor la săruri. Alți autori dovedesc efectul pozitiv al zincului în mărirea rezistenței plantelor la săruri. De asemenea, cercetările mai arătă că se poate mări rezistența la săruri a tomatelor cu ajutorul îngrășămintelor ce conțin bor, mangan, cupru și aluminiu. Trebuie să menționăm că există autori care atrag atenția asupra faptului că aplicabilitatea în practică nu are un caracter general, și că de aceea trebuie ca această metodă să capete prelucrarea necesară de la caz la caz.

După M. I. Skolnik, efectul pozitiv al microelementelor se poate urmări atît în preîntîmpinarea unor perturbări în schimbul de substanțe, cît și asupra modificărilor în sens favorabil a proprietăților coloidal-chimice ale protoplasmei. O serie de microelemente se comportă ca antagoniste pentru ionul clor care are, precum se știe, o influență nefavorabilă asupra proceselor fiziologice. Puțin studiat este efectul microelementelor asupra permeabilității celulare. Totuși, sînt indicații că pe baza antagonismului microelementelor cu clorul, ultimul poate pătrunde într-o măsură mai redusă în celule. Se mai cunosc și alte forme de manifestare a acestui antagonism, constînd în înlăturarea acțiunii toxice a ionului de clor prin legarea lui de diferiți componenți organici din celulă. S-a dovedit, de asemenea, că sub influența pozitivă a borului, aluminiului și manganului, are loc o creștere considerabilă a conținutului în glucide solubile și insolubile din corpul plantei. Mai ales, fracțiunea solubilă prezintă un interes deosebit, întrucît se știe că ea asigură condiții mai bune de creștere.

E. EFECTE NEFAVORABILE ASUPRA CREȘTERII PLANTELOR

1. Influența excesului de apă asupra plantelor

Exces de apă în sol întîlnim de obicei în solurile mlăștinite sau în locurile joase, unde apa stagnează mai mult timp. În marea lor majoritate, plantele nu întîlnesc condiții proprii culturii lor în aceste cazuri. Fie că este

vorba de înmlăștinire, sau de inundația temporară a solului, plantele se asfixiază din cauza excesului de apă care umple toate spațiile capilare din sol. În aceste condiții, rădăcinile nu mai pot avea la dispoziție oxigenul necesar pentru activitatea de absorbție a sărurilor minerale. Imposibilitatea aerisirii solurilor în aceste condiții mai prezintă și alte neajunsuri. Activitatea bacteriilor aerobe din sol încetează și se intensifică aceea a bacteriilor anaerobe. De pe urma activității acestora rezultă o serie de substanțe care sînt toxice pentru rădăcinile plantelor.

Pe solurile înmlăștinite pot crește bine numai plantele de mlaștină, ale căror rădăcini nu sînt sensibile nici la toxinele de mlaștină, prezentînd adaptări anatomice care permit o respirație normală a rădăcinilor chiar și în solurile complet lipsite de oxigen. Este suficient să studiem o frunză de *Typha* ca să ne putem da seama că acest ogran conține cavități aerifere enorm de multe, care se prelungesc într-un sistem continuu pînă la rădăcini. Existența acestor spații aerifere permit ca oxigenul rezultat din procesul de fotosinteză să fie condus spre rădăcini, cărora le creează condiții de respirație.

Dintre plantele de cultură, doar orezul prezintă adaptări corespunzătoare în acest sens, ceea ce îi permite să trăiască în condiții de inundare în decursul celei mai mari părți din perioada sa de vegetație. Pentru a se putea crea condiții de cultură pentru restul plantelor, mlaștinile trebuie asanate, iar din bălțile temporare de pe arături, apa trebuie evacuată prin canale de scurgere sau prin puțuri absorbante.

2. Căderea plantelor și cauzele ei. Mijloacele de luptă împotriva căderii plantelor

Cerealele păioase și — într-o măsură mai mică — inul pot cădea în anumiți ani, provocînd pagube acestor culturi. Căderea cerealelor are consecințe negative care afectează substanțial cheltuielile de recoltare prin faptul că recoltatul nu se mai poate face mecanizat, suferind însăși calitatea recoltei.

Condiții în care apare mai des căderea cerealelor sînt fie îngrășarea unilaterală cu azot, fie ploile abundente, precum și irigarea culturii, mai ales în faza umplerii bobului.

În esență, căderea este o consecință nefavorabilă a caracterului creșterii internodiilor bazale în condiții de umbrire puternică. În acest caz, creșterea este grăbită sub influența unui curent puternic de substanțe de creștere, iar sistemul mecanic de susținere a paiului se realizează defectuos. Astfel, paiul atinge o lungime prea mare, diametrul lui rămîne mai redus, înfrățirea este puternică, pereții celulari celulozici rămîn subțiri, iar atunci cînd paiul prezintă un număr de fascicule libero-lemnoase mai redus, la care se mai adaugă și un spic aristat bine fructificat, internodiile de la bază sînt supuse, în condiții de vreme ploioasă, cu vînturi, unei forțe de îndoire apreciabilă, căreia nu pot să-i reziste. Cercetări în domeniul rezistenței la cădere la grîu au efectuat Holdefleiss (1908), Blaringen (1914),

Scanned with OKEN Scanner

Draghetti (1921), Kuzmenko (1930), Prokova (1932), Prutescu (1935), Maksimov (1952) și alții.

Lupta împotriva căderii este de cea mai mare importanță. Trebuie să evităm semănăturile prea dese, care se obțin fie în cazul cînd se folosesc cantități prea mari de sămînță la însămînțare, fie de pe urma îngrășării lanurilor cu exces de azot sau a irigării nerațional condusă.

O bună rezistență la cădere a soiurilor luate în cultură la noi se obține, precum au dovedit cercetările lui M. Pușcaș și colaboratorii săi (1960, 1961, 1963), pe baza îmbinării armonioase a însușirilor și caracterelor de pai gros și scurt, înfrățire potrivită, număr mare de fascicule, libero-lemnoase în pai, un sistem radicular puternic. Favorabile pentru o bună rezistență la cădere trebuie să considerăm și lipsa aristelor, și portul erect al frunzelor.

În condițiile agriculturii socialiste, însușirea rezistenței la cădere a devenit una dintre criteriile de bază, care hotărăsc valoarea în ansamblu a unui soi de grîu.

BIBLIOGRAFIE

1. Biucan, D. *Contribuții la studiul rezistenței porumbului la ger,* București, Inst. agronomic, 1961 (disertație).
2. Chirilei, N. *Individualizarea protoplasmei celulelor cerealelor de toamnă care iernează și rezistența la îngheț, în* „Bul. șt. al Acad. R.P.R., secțiunea de științe biolo-agronomice, geologice", București, 1953, t. V., nr. 3.
3. Chirilei, H. și Mavromati, El. *Contribuții la studiul rezistenței la ger a cerealelor de toamnă,* în „Lucr. ses. șt. ale Inst. „N. Bălcescu", București, Ed. agro-silvică, 1955, vol. I.
4. Chirilei, H. și Stoian, M., *Individualizarea celulelor ca indicator pentru aprecierea indirectă a rezistenței la ger a pomilor,* în „Bul. șt. al Acad. R.P.R., seria botanică", București, 1957, t. II, nr. 4.
5. Chirilei, H., Mavromati și Dorobanțu, N., *Cercetări citofiziologice asupra rezistenței le ger a unor soiuri de viță de vie,* în „Comunicările Academiei R.P.R., București, 1960, t. X, nr. 2.
6. Chirilei, H., *Cercetări privitoare la acțiunea aluminiului asupra rezistenței la ger a grîului Bankut 1201,* în „Lucr. șt. ale Inst. N. Bălcescu", București, Ed. agro-silvică, 1960.
7. Cojeneanu, N., *Cercetări asupra legături dintre perioada de repaus și necesitatea temperaturilor scăzute la cais,* în „Studii și cercetări științifice de biologie și științe agricole", Iași, 1959, an. X, nr. 2.
8. Cojeneanu, N., *Cîteva date despre influența sulfatului de aluminiu asupra rezistenței la îngheț a unor plantule,* în „Comunicările Academiei R.P.R.", București, 1953, t. IV, nr. 3—4.
9. * * * *Fiziologhie ustoicivosti restenii (Morozoustoicivosti, zasuhoustoicivosti i soleustoicivosti).* Trudî konferenții 3—7 marta 1959, Moscova, Izda-vo AN SSSR, 1960.
10. Giosan, N., Buican, D. și Pîrvu, T., *Contribuții la studiul rezistenței la ger a unor soiuri de grîu de toamnă, în vederea raionării, lor,* în „Studii și cercetări de agronomie", Ed. Acad. R.P.R., 1959.
11. Giosan, N., Bărbat, I. și Puia, I., *Sravnitelinoe izucenie protessa razvitia ozimogo eacimenia sorta Cenad 396 (dvurucika) i iarovogo eacimenia sorta Cluj 123,* în „Fiziologhiia rastenii", Moscova, 1961.
12. Killian, Gh. și Lemée, G., *Les xérophytes ; leur économie d'eau.* Din Encyclopedia of Plant Physiology, edited b yW. Ruhland, vol. III, Water relation of Plant, Heidelberg, Springer Verlag, Berlin-Göttingen, 1965.

Scanned with OKEN Scanner

13. Krujilin, A. S., *Biologhiceschie osobenosti proșaemîh kultur,* Moscova, 1954.
14. Levitt, J., Sullivan Ch. Y., Nils-Olof Johansson și Robert M. Petit, *Sulfydryls — A new factor in frost resistance I. Changes in SH content during frost hardening,* în „Plant Physiology", 1961, vol. 36, nr. 5.
15. Peive, I. V., Azupiev, I. P., Zhiznevskaia, C. Z. și Ozilina, C. R., *Microelementî i urojai. Trudî laboratorii biochimii pociv i microelementov, Riga,* Izda-vo AN LSSR, 1961.
16. Puia, I., Bărbat, I. și Santău, O., *Contribuții la studiul rezistenței la ger a orzului de toamnă,* în „Probleme agricole", 1957, nr. 8.
17. Puia, I., *Cercetări asupra rezistenței la ger a cerealelor,* Cluj, 1959 (disertație).
18. Pușcaș, M., Baia, V. și Stoiciu, T., *Factorii fiziologici care condiționează o bună sau slabă răsărire a porumbului,* în „Lucr. șt. I.A.T.", București, Ed. agro-silvică, 1960.
19. Pușcaș, M., Baia, V. și Stoiciu, T., *Caracterizarea unor soiuri de grîu din p.d.v. al rezistenței la cădere,* în „Lucr. șt. I.A.T.", București, Ed. agro-silvică, 1961.
20. Pușcaș, M., Stoiciu, T. și Baia, V., *Cercetări privind creșterea sistemului radicular la cîteva soiuri de grîu,* în „Lucr. șt. *I.A.T.*", București, Ed. agro-silvică, 1961.
21. Pușcaș, M., Ursu, M. și Clonds, G. Elita Ilca, *Cercetări în legătură cu rezistența la cădere a cîtorva souri de grîu cultivate în condiții de agrofond puternic îngrășat,* în „Lucr. șt. I.A.T.", București, Ed. agro-silvică, 1963.
22. Sălăgeanu, N. și Gălan, G., *Despre determinarea nevoii de apă a plantelor în vederea stabilirii datei udărilor,* în „Bul. științific", București, Acad. R.P.R., nr. 1, 1954.
23. Sergheev, L. I., *Vînoslivost rastenii,* Moscova, Izo-vo, Sovertskaia Nauka, 1952.
24. Strogonov, B. P., *Fiziologhiceskie osnovî soleustoicivosti rastenii (prirazmokacestvonnom zasolenii pocivî),* Moscova, Izd-vo AN SSSR, 1962.
25. Vasiliev, I. M., *Zimostoicosti rastenii,* Moscova, Izo-vo AN SSSR, 1963.

Scanned with OKEN Scanner

CUPRINSUL

Prefața 3

Introducere la studiul fiziologiei plantelor 5

1. Definiția și obiectul fiziologiei plantelor 5
2. Raportul dintre fiziologia plantelor și celelalte științe biologice și agronomice 6
3. Metodele de cercetare ale fiziologiei plantelor 7
4. Problemele pe care le studiază fiziologia plantelor și sarcinile ei de viitor 8

Cap. I. Fiziologia celulei vegetale 9

1. Compoziția chimică a materiei vii celulare 10
2. Proprietățile fizice ale materiei vii celulare 15
3. Organizarea submicroscopică și ultramicroscopică a materiei vii celulare 19
4. Compoziția chimică, structura și proprietățile membranei celulare . . 23
5. Proprietățile fiziologice ale celulei vegetale 24
6. Bazele fizico-chimice ale schimbului de substanțe la celula vegetală . 25
7. Celula vegetală ca sistem osmotic 28

Bibliografie 39

Cap. II. Regimul de apă al plantelor 40

Noțiuni introductive 40

A. *Absorbția apei de către plante* 43

1. Absorbția apei la nivelul rădăcinii 43
2. Răspîndirea rădăcinilor în sol 44
3. Apa accesibilă și apa inaccesibilă pentru plante 46
4. Mecanismul de absorbție a apei de către rădăcină 48
5. Influența factorilor externi asupra absorbției apei de către rădăcină . 53
6. Absorbția apei de către organele aeriene 55

B. *Transpirația plantelor* 56

1. Rolul transpirației în viața plantelor 56
2. Punerea în evidență și metodele de determinare a transpirației . . 57
3. Factorii interni ai transpirației 59
4. Mișcarea de deschidere și închidere a stomatelor 62
5. Factorii externi de care depinde transpirația 66

C. *Circulația apei în corpul plantei* 67

1. Circulația apei prin celulele vii 68
2. Circulația apei prin țesutul conducător lemnos 69
3. Forțele care determină circulația apei 70
4. Viteza de circulația a apei în plantă 74

D. *Bilanțul hidric al plantelor* 75

1. Ofilirea plantelor 75

Bibliografie 78

Scanned with OKEN Scanner

Cap. III. **Nutriția minerală a plantelor** 79
1. Introducere 79
2. Metodele pentru studiul nutriției minerale a plantelor 80
3. Tehnica culturii plantelor în soluții nutritive și măsurile ce trebuie luate pentru reușita culturii 84
4. Absorbția substanțelor minerale de către plante 86
5. Mecanismul absorbției substanțelor minerale din sol 89
6. Intensitatea absorbției ionilor minerali la diferite plante de cultură . . . 91
7. Factorii care influențează absorbția substanțelor minerale 94
8. Transportul elementelor minerale în rădăcină și în părțile aeriene ale plantelor 99
9. Funcțiile fiziologice ale elementelor minerale 100
10. Simptomele lipsei elementelor minerale esențiale din nutriția plantelor 103
11. Asimilarea azotului de către plante 107
12. Unele particularități cu privire la folosirea de către plante a compușilor minerali greu solubili și ușor solubili în apă 110
13. Bazele fiziologice ale aplicării îngrășămintelor minerale 111
14. Administrarea fracționată a îngrășămintelor 111
Bibliografie 112

Cap. IV. **Asimilația carbonului de către plante** 117
A. *Fotosinteza* 118
1. Considerații generale asupra fotosintezei 118
2. Metodele de studiu ale fotosintezei 119
3. Sursele de carbon pentru plante 123
4. Condițiile necesare asimilării bioxidului de carbon 125
5. Factorii de care depinde formarea clorofilelor și carotinoidelor . . 130
6. Absorbția luminii de către clorofilă 131
7. Fotosinteza ca proces de acumulare de substanță organică și de energie 133
8. Eficiența fotosintezei 136
9. Factorii care pot influența intensitatea fotosintezei 136
10. Mersul fotosintezei în timpul unei zile și în timpul vegetației . . 146
11. Mecanismul fotosintezei 148
12. Relația dintre productivitatea fotosintezei și recoltă 151
B. *Chimiosinteza* 152
C. *Heterotrofia* 153
Bibliografie 156

Cap. V. **Respirația plantelor** 157
A. *Importanța respirației în viața plantelor* 157
B. *Tipurile de respirație la plante* 158
C. *Respirația aerobă (oxibioza)* 159
1. Metodele de punere în evidență și măsurare a respirației aerobe . . 160
2. Intensitatea respirației aerobe la plante 164
3. Substanțele care se consumă în respirație, Cîtul respirator . . . 166
4. Inflența factorilor interni asupra respirației aerobe 168
5. Influența factorilor externi asupra respirației aerobe 171
D. *Respirația anaerobă (anaerobioza)* 175
E. *Mecanismul respirației* 179
F. *Energia produsă de respirație și transformările ei* 184
G. *Aplicațiile cercetărilor asupra respirației în problemele de agricultură* . . 186
Bibliografie 188

Cap. VI. **Transformarea și circulația substanțelor organice în corpul plantelor** . . 189
A. *Transformarea substanțelor organice* 189
1. Noțiuni generale despre metabolism 189
2. Caracteristicile principale ale activității fermenților în celulele vii . 190
3. Variațiile activității fermenților la plante 192
4. Principalele substanțe sintetizate în corpul plantelor 193

Scanned with OKEN Scanner

5. Sinteză primară a substanțelor proteice 195
6. Substanțele organice de origine secundară 197
7. Transformarea substanțelor organice în cursul germinației semințelor 198
B. *Circulația substanțelor organice în corpul plantelor* 205
1. Generalități 205
2. Formele de circulație ale substanțelor organice 206
3. Căile de circulație ale substanțelor organice 206
4. Mecanismul de circulație al substanțelor asimilate 208
C. *Procesele biochimice din cursul coacerii fructelor și a semințelor* 211
1. Coacerea semințelor și a fructelor 211
2. Legătura dintre compoziția chimică a fructelor și a semințelor și factorii climaterici 216
Bibliografie 218

Cap. VII. **Creșterea și mișcările plantelor** 219

A. *Creșterea plantelor* 219
1. Introducere 219
2. Etapele și zonele creșterii 220
3. Mecanismul creșterii 222
4. Substanțele care stimulează procesul de creștere 223
5. Substanțele inhibitoare ale procesului de creștere 244
6. Factorii externi ai creșterii 245
7. Corelația și importanța ei în viața plantelor 248
8. Fenomenul polarității 252
B. *Starea de repaus la plante* 254
1. Considerații generale 254
2. Repausul profund și repausul forțat 255
3. Cauzele care determină repausul la plante 256
4. Repausul semințelor 258
5. Germinația semințelor 262
C. *Mișcările plantelor* 264
1. Tropismele 265
2. Nastiile 271
Bibliografie 273

Cap. VIII. **Dezvoltarea individuală a plantelor** 275

Definiție, istoric, caracteristici generale 275
Dezvoltarea individuală a plantelor și importanța factorilor mediului exterior 275
A. *Stadiul de iarovizare* 277
1. Temperatura ca factor al dezvoltării plantelor anuale 277
2. Importanța nutriției minerale și a oxigenului 278
3. Variația constantelor de iarovizare 279
4. Rolul temperaturilor variabile și al temperaturilor negative 280
5. Metabolismul în stadiul de iarovizare 281
6. Stadiul de iarovizare la plantele bienale 281
7. Stadiul de iarovizare la plantele perene ierboase 281
8. Necesitatea temperaturilor scăzute la plantele perene lemnoase . . 282
B. *Stadiul de lumină* 282
1. Rolul duratei de acțiune a luminii în dezvoltarea plantelor 282
2. Cerințele plantelor în stadiul de lumină 286
3. Lungimea zilei și organele vegetative 289
4. Rolul frunzei 291
5. Reacția fotoperiodică și vîrsta plantei 292
6. Stadiul de lumină și răspîndirea geografică a plantelor 293
C. *Fiziologia polenizării, fecundării și formării fructelor la plante* 294
1. Despre sexele plantelor 294
2. Germinația polenului și interacțiunea dintre polen și stigmat . . 297
Bibliografie 299

Cap. IX. Rezistența plantelor la condiții externe nefavorabile 300
A. *Rezistența la ger a plantelor* 300
1. Stabilirea cauzelor pieirii plantelor la acțiunea temperaturilor negative și a temperaturilor pozitive scăzute 300
2. Dezvoltarea însușirii de rezistență la ger 303
3. Rezistența la ger a plantelor de cultură 306
4. Alte cauze nefavorabile plantelor în condițiile iernării 310
5. Examinarea rezistenței plantelor la ger 310
B. *Rezistența la secetă a plantelor* 311
1. Acțiunea secetei atmosferice și a secetei solului 311
2. Evoluția concepțiilor despre rezistența la secetă 312
3. Reacțiile de apărare-adaptare a plantelor la secetă 314
4. Rezistența la secetă a plantelor de cultură 317
5. Metode pentru aprecierea rezistenței plantelor la secetă 322
C. *Bazele fiziologice ale irigației* 323
1. Caracteristicile generale ale proceselor fiziologice la plantele irigate 323
2. Folosirea indicilor fiziologici la stabilirea necesității de apă pentru plantă 327
D. Rezistența plantelor la săruri 328
1. Efectul negativ al sărurilor asupra plantelor 328
2. Căile și mecanismul adaptării plantelor la sărături 329
3. Posibilitățile și perspectivele sporirii rezistenței plantelor la sărăturarea solurilor 332
E. *Efecte nefavorabile asupra creșterii plantelor* 332
1. Influența excesului de apă asupra plantelor 332
2. Căderea plantelor și cauzele ei. Mijloacele de luptă împotriva căderii plantelor 333
Bibliografie 334
Cuprinsul 337

Redactor responsabil: Ing. BÎRNAURE VICTOR
Tehnoredactor : BĂLĂIȚĂ TITEL

Dat la cules : 13.08.1964. Bun de tipar : 23.10.1964. Apărut 1964. Tiraj 3 000+125 leg. ½ pînză. Hîrtie scris tip I a 80 g/m², 16/70×100. Coli editoriale 27,325. Coli de tipar 21,25. Planșe 3. A 11617. C. Z. pentru bibliotecile mari 581.1(075.8). C. Z. pentru bibliotecile mici 58.

Tiparul executat sub comanda nr. 5233 la Întreprinderea Poligrafică „Banat", Timișoara, str. Tipografilor nr. 7. R.P.R.

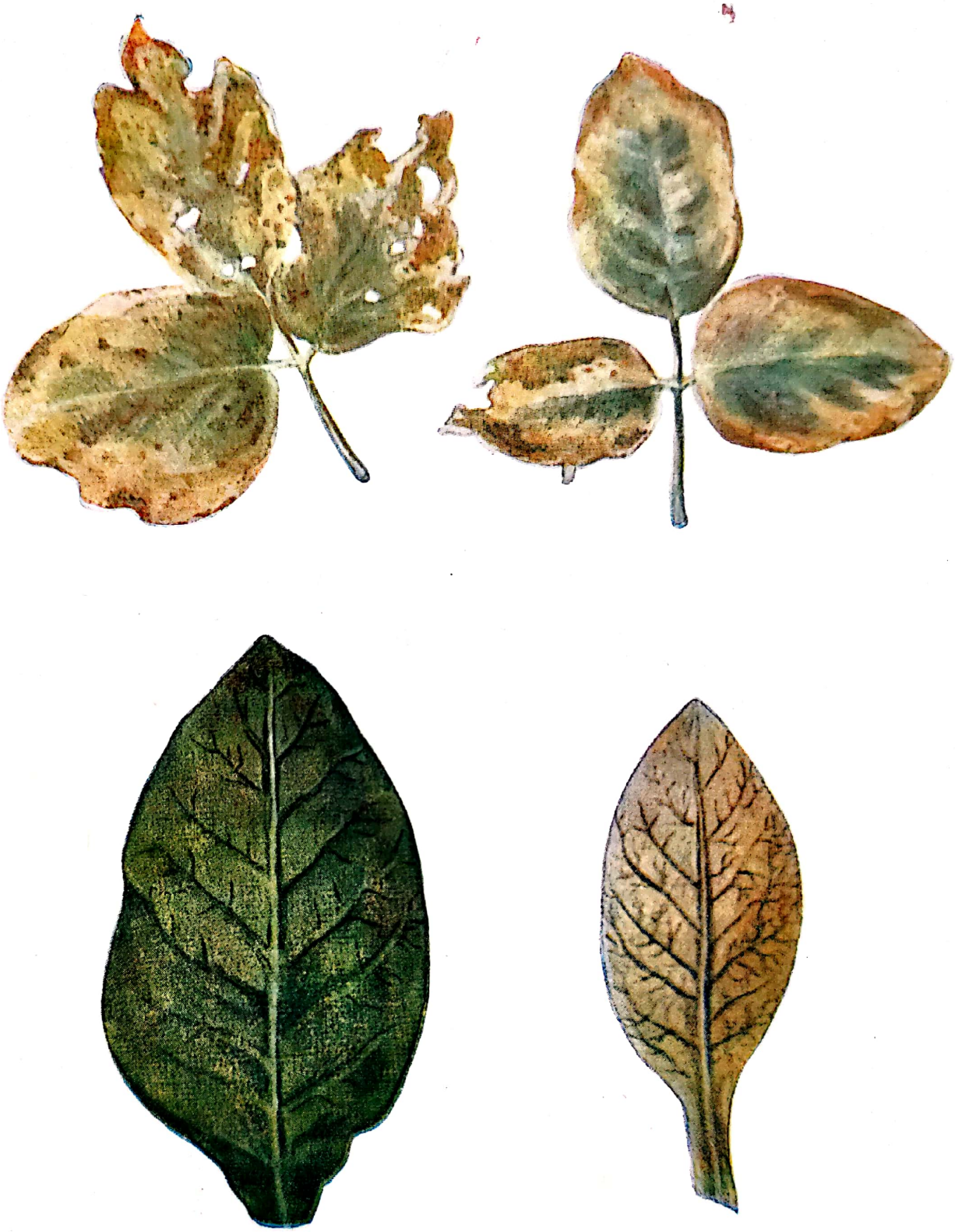
Scanned with OKEN Scanner

Simptomul carenței azotului la *cartof* (sus) și la *ovăz* (jos). Frunzele verzi sînt cele sănătoase, iar cele galbene sînt cele bolnave (după Kept, Cetmen și Parker)

Scanned with OKEN Scanner

Simptomul carenței potasiului la *porumb* (stînga sus), la frunzele de *măr* (jos) și simptomul carenței magneziului la frunzele de *bumbac* (dreapta sus). În cazul carenței de K se văd arsuri pe margine, pete necrotice, iar al carenței de Mg mezofilul purpuriu și nervurile verzi (după Hoffer, Krantz, Kuner și Donald).

Scanned with OKEN Scanner



Simptomul carenței acute de calciu la frunzele de *soia* (sus) și al carenței fierului la frunzele de *tutun* (jos) (după Skimner, Peris și Mac Mertri)

Scanned with OKEN Scanner